

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR  
MESTRADO EM SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS

**VARIABILIDADE CLIMÁTICA MARINHA NA PLATAFORMA  
SUDESTE BRASILEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PESCA  
DA SARDINHA-VERDADEIRA (*Sardinella brasiliensis*)**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pelo aluno Walter Hugo Diaz Pinaya, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

**Orientadores:** Dr. Ronald Buss de Souza  
e Dr. Eduardo Tavares Paes

PONTAL DO PARANÁ  
2008

P645 Pinaya, Walter Hugo Diaz, 1962  
Variabilidade climática marinha na plataforma sudeste brasileira  
e sua relação com a pesca da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) / Walter. – Pontal do Paraná, 2008.  
209 f.: il. (algumas color.); 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronald Buss de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências da Terra, Centro de Estudos do Mar. Programa de  
Pós-graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

1. Oceanografia. 2. Sardinha (Peixe) - Pesca. 3. Pesca.  
4. Sensoriamento remoto. I. Título. II. Ronald Buss de Souza. III.  
Universidade Federal do Paraná.

CDD 639.3755



*" When you find an obstacle in the current of life, just paddle harder and let the force of a  
new wave to take you wherever you wanna go" - Laura Sordo*

*Ao meus pais,  
Walter e Carmem  
e a minha família.*

## AGRADECIMENTOS

De todo meu coração agradeço: ao Centro de Estudos do Mar (CEM) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela oportunidade de estudo e aos meus pais e familiares pelo apoio financeiro concedido durante o curso. Ao meu orientador Dr. Ronald Buss de Souza, conselheiro e amigo, por ter apostado todas as fichas em mim e sempre ter me apoiado nas minhas idéias e ao meu co-orientador Dr. Eduardo Tavares Paes pela valiosa orientação na realização deste trabalho. Agradeço a M.Sc. Mariana Altenburg Soppa e ao M.Sc. Luiz Eduardo Moraes pela constante colaboração e apoio. Ao Grupo de Sensoriamento Remoto Aplicado a Pesca do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio. A todo pessoal do Serviço de Estatística do Instituto de Pesca do Estado de São Paulo (IP), em especial ao Dr. Marcus Henrique Carneiro e Dr. Antonio Olinto Ávila Jr. pelos ensinamentos e idéias sobre a pesca da sardinha no Estado de São Paulo. Agradeço a Juliana do IP em Santos pela ajuda no processamento e obtenção dos dados de pesca. Ao IP, ao Grupo de Estatística Pesqueira (GEP) da Universidade Vale do Itajaí (Univali), à Secretaria Especial de Aquacultura e Pesca (SEAP) por disponibilizarem os dados de pesca. Ao projeto *Pathfinder* da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) por prover os dados de temperatura da superfície do mar; ao National Center for Environmental Prediction do Department of Energy do National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR-DOE) por cederem os dados de vento na superfície do mar e ao Climate Predictivity Center (CPC/NCEP-NOAA) pelos dados relativos aos índices climatológicos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos (PGSISCO) agradeço pelas facilidades oferecidas para o desenvolvimento do trabalho. Agradeço também ao corpo docente pelo conhecimento transmitido. À turma de 2007 e aos colegas do PGSISCO, Camilla Ramos Thompson, Ellie Anne López Barrera, Liana Rosa, Kalina Brauk, Luiz Henrique Sielski de Oliveira, Cristiane de Souza Figueiredo, Andressa de Camargo Piovezan e Alex Vieira Falkenberg, pelos vários e bons momentos de descontração. Ao pessoal de Pontal do Sul, Terumi, Denilson, Iene Oliveira, Gislaine Oliveira e Rinaldo Paiva, que se tornaram parte de minha família. Aos meus amigos Dr. Marcus Pollete, Dra. Adriana Gonzalez Silvera, Dr. Osman Fernandes e M.Sc. Tesoro Gladys Pinaya pelo grande incentivo para que eu retornasse a minha vocação. Ao Jorge Marcos Ribeiro da Silva, aos meus pais, minha irmã Maria del Carmem e minha família, além de serem fonte de inspiração, nunca deixaram de me apoiar nas minhas decisões, mesmo que parecessem totalmente absurdas: “Família, obrigado! Também ao Astor e o Bonney por serem meus companheiros de sempre.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise sobre a influência da variabilidade climática marinha na Captura por Unidade de Esforço (CPUE) mensal da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, na Plataforma Continental Sudeste (PCSE) do Brasil entre 1985 e 2006. Dados de sensoriamento remoto e reanálises foram usados para obter séries de tempo mensais das variáveis climáticas marinhas Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM), componentes zonal (AU) e meridional (AV) do vento e transporte de Ekman (TEkman). Séries de tempo mensais dos índices climatológicos da Oscilação Antártica (AAO), do fenômeno ENOS (MEI) e do Gradiente Inter-hemisférico de TSM (GITA) também foram obtidas. A partir de dados de pesca, a CPUE mensal foi estimada para a região próxima a Santos, SP (área Q2) entre 1990 e 2006 e para a área próxima a Itajaí, SC (Q1) entre 2000 e 2006. Para investigar a relação essas variáveis foram aplicados métodos da transformada de ondeletas (TO), ondeleta cruzada (TXO), correlação cruzada, e análises de componentes principais (ACP) e de redundância (RDA). As anomalias negativas (positivas) de AU, AV e TEkman tendem a causar uma queda (aumento) na CPUE da sardinha na PCSE. Por outro lado, uma ATSM negativa (positiva) tende a aumentar (diminuir) essa CPUE. Os resultados demonstram que a variabilidade da CPUE em Q1 e Q2 está correlacionada com as variáveis climáticas, embora os coeficientes não sejam elevados. AU e AV apresentaram a melhor correlação com CPUE em Q1 ( $r = -0,37$ , defasagem de 21 meses;  $r = 0,35$ , defasagem de 7 meses para AU e AV, respectivamente) seguidos pelo TEkman na área Q2 ( $r = -0,26$ , defasagem de 18 meses). A CPUE em Q2 mostrou correlações, embora baixas, com AV, ATSM e TEkman. Os resultados da correlação cruzada igualmente indicam que a CPUE em Q2 é influenciada pela AAO e por eventos do ENOS. A CPUE na área Q1 apresenta melhor correlação com o índice GITA. Os resultados da transformada TXO indicam que as variáveis analisadas influenciam o sucesso do recrutamento e a variabilidade interanual do estoque adulto da sardinha, especialmente em períodos combinados com eventos extremos do ENOS, da Oscilação Antártica e do GITA. O TEkman mostrou estar relacionado com todo ciclo de vida da espécie. A ACP indica, no primeiro eixo, uma relação entre CPUE e vento. O Primeiro Plano Fatorial (PPF) explicou 56,8 % da variação total dos dados. Para Q2, o PPF da ACP explicou 52,3 % da variação. A variabilidade interanual da CPUE apresentou um discreto padrão sazonal, sugerindo a ação de processos ecológicos talvez relativos à sobrepesca. A RDA mostrou que a CPUE em Q1 foi melhor correlacionada com o índice GITA, enquanto que em Q2 a melhor correlação foi com a ATSM da área QM1. A defasagem de tempo entre a CPUE e os parâmetros analisados sugere interações distintas da população de sardinha com os processos oceânicos. Esse estudo corrobora trabalhos anteriores indicando que o conhecimento da dinâmica pesqueira e da variabilidade climática da PCSE é necessário para que se promova uma política de gestão sustentável da sardinha.

**PALAVRAS-CHAVE:** OCEANOGRAFIA COSTEIRA, SARDINHA-VERDADEIRA, PESCA, VARIABILIDADE CLIMÁTICA, SENSORIAMENTO REMOTO.

## ABSTRACT

This work presents an analysis of the influence of the marine climatic variability on the monthly Capture per Unit Effort (CPUE) of the sardine, *Sardinella brasiliensis*, in the Brazilian Southeastern Continental Shelf (PCSE) between 1985 and 2006. Remote sensing and reanalysis data were used to obtain time series of the marine climatic variables Sea Surface Temperature Anomaly (ATSM), zonal (AU) and meridional (AV) wind components and the Ekman transport (TEkman). Monthly time series of the climatological indexes of the Antarctic Oscillation (AAO), ENOS (MEI) and the Inter-hemispherical Sea Surface Temperature Gradient (GITA) were also obtained. From fisheries data, the monthly CPUE was estimated for a region near Santos, SP (Q2 area) between 1990 and 2006 and for an area near Itajaí, SC (Q1 area) between 2000 and 2006. In order to evaluate the relationship between these variables the methods of wavelets (TO), cross-wavelets (TXO), cross-correlation and Principal Components (ACP) and Redundancy analysis (RDA). were applied. Negative (positive) anomalies of AU, AV and TEkman tend to produce a decrease (increase) on the sardine CPUE in the PCSE. On the other hand, a negative (positive) ATSM tends to cause an increase (decrease) on the CPUE. The results show that the CPUE variability in Q1 and Q2 is correlated to the climatic variables, albeit the coefficients are not high. AU and AV presented the Best correlation with CPUE in Q1 ( $r = -0,37$ , time lag of 21 months;  $r = 0,35$ , time lag of 7 months for AU and AV, respectively) followed by TEkman in area Q2 ( $r = -0,26$ , time lag of 18 months). The CPUE in Q2 showed correlations, albeit low, with AV, ATSM and TEkman. The cross-correlation results also indicated that CPUE in Q2 is influenced by AAO and by ENOS events. The CPUE in Q1 area presents the higher correlation with the GITA index. The TXO results demonstrate that the variables analyzed have influence on the recruiting success as well as on the interannual variability of the adult sardine stock, especially over combined periods with ENOS, AAO and GITA. The TEkman proved to be related to the complete life cycle of the species. The ACP indicates, on the first axis, a relation between CPUE and wind. The First Factorial Plan (PPF) explained 56.8% of the total variance of the data. For the Q2 area, the ACP's PPF explained 52.3% of the variance. The interannual variability of the CPUE presented a light seasonal pattern, suggesting the influence of ecological processes maybe related to overfishing. The RDA showed that the CPUE in Q1 was better correlated to the GITA index, while in area Q2 the best correlation was with the ATSM of area QM1. The time lag between the CPUE and the analyzed parameters suggests distinct interactions of the sardine population with the oceanic processes. This study corroborates early works indicating that the knowledge on the fisheries dynamics and of the PCSE climatic variability is necessary for promoting a sustainable sardine stock management.

KEY WORDS: COASTAL OCEANOGRAPHY, BRAZILIAN SARDINE, FISHERY, CLIMATIC VARIABILITY, REMOTE SENSING.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xx
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Área de Estudo .....	2
1.2 Variabilidade climática marinha através de dados de sensoriamento remoto	5
1.3 Variabilidade da pesca.....	6
1.4 Objetivos.....	9
1.5 Organização do Trabalho.....	10
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Oceanografia da Costa Sul-Sudeste do Brasil .....	12
2.1.1 Plataforma Continental .....	15
2.1.2 Massas d'Água .....	16
2.2 Sensoriamento Remoto .....	17
2.2.1 Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....	17
2.2.1.1 Nova Visão Sobre Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....	18
2.2.1.2 Importância da Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....	19
2.2.1.3 Principais Sensores Orbitais para Medição da TSM.....	20
2.2.1.4 Estimativa Dados da TSM.....	22
2.2.2 Sensoriamento Remoto Aplicado à Pesca .....	23
2.3 Biologia da sardinha-verdadeira ( <i>Sardinella brasiliensis</i> ) .....	23
2.3.1 Área de Ocorrência.....	23
2.3.2 Desova e Crescimento.....	24
2.3.3 Recrutamento .....	27
2.3.4 Pesca (tradição, métodos, mercado).....	28
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
3.1 Dados .....	34
3.1.1 Dados Reanálises.....	34
3.1.2 Dados de Satélites.....	35

3.1.2.1 Temperatura da Superfície do Mar (TSM) .....	35
3.1.2.2 Dados de Vento na Superfície do Mar.....	37
3.1.3 Índices Climatológicos .....	41
3.1.3.1 Índice Multivariado ENOS (MEI).....	41
3.1.3.2 Oscilação Antártica (AAO) .....	44
3.1.3.3 Gradiente Inter-hemisférico de TSM do Atlântico (GITA).....	45
3.1.4 Dados de Captura e Desembarque.....	48
3.2 Metodologia .....	53
3.2.1 Séries Temporais.....	53
3.2.2 Anomalia Normalizada .....	54
3.2.3 Transformada Rápida de Fourier (TRF) .....	54
3.2.4 Transformada de Ondeletas (TO) .....	56
3.2.5 Análise de Correlação Cruzada.....	59
3.2.6 Análise Espectro Cruzado de Ondeletas (ECO) e Ondelela de Covariância.....	60
3.2.7 Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Redundância (RDA) ...	61
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	66
4.1 Climatologia .....	66
4.1.1 TSM .....	66
4.1.2 Componente Zonal do Vento (u) .....	67
4.1.3 Componente Meridional Vento (v).....	68
4.1.4 Transporte de Ekman.....	69
4.2 Anomalia Normalizada das Séries Temporais.....	70
4.2.1 Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) .....	71
4.2.1.1 Gradiente Térmico Horizontal.....	80
4.2.2 Anomalia da Comp. Zonal (U) e Meridional (V) da Velocidade do Vento 10 m83	
4.2.3 Anomalia Transporte de Ekman.....	89
4.3 Comparativo de Pesca.....	92
4.4 Ondeletas e Análise Espectral .....	93
4.4.1 ATSM.....	94
4.4.2 Componente Zonal do Vento .....	97
4.4.3 Componente Meridional do Vento .....	99
4.4.4 Transporte de Ekman.....	100
4.4.5 Índices Climatológicos .....	102
4.5 Correlação Cruzada e Ondelela Cruzada .....	105

4.5.1 Variabilidade Climática Marinha .....	106
4.5.1.1 Anomalia Normalizada da TSM.....	106
4.5.1.2 Anomalia Normalizada da Componente Zonal e Meridional do Vento e Transporte de Ekman .....	108
4.5.1.3 Índices Climatológicos .....	110
4.5.2 Variabilidade Climática Marinha x CPUE (Captura por Unidade de Esforço)....	111
4.5.2.1 CPUE x Índices Climatológicos .....	111
4.5.2.2 Variáveis Climáticas x CPUE .....	113
4.6 Análises de Componentes Principais (ACP) e Análise de Redundância (RDA).....	118
4.6.1 ACP Região Q1 .....	118
4.6.2 ACP Região Q2 .....	120
4.6.3 Análise de Redundância (RDA).....	121
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS.....	123
BIBLIOGRAFIA.....	132
APÊNDICE A.....	153
APÊNDICE B - POLÍTICA E MANEJO DE RECURSOS PESQUEIROS.....	155
APÊNDICE C – GESTÃO DE ACESSO LIVRE A INFORMAÇÃO (OPEN ACCESS) .....	157
APÊNDICE D .....	160
D.1 – Variabilidade Climática Marinha .....	160
D.2 – Análise da Variabilidade Climática Marinha com Respeito ao CPUE.....	169
D.3 – Variáveis Climáticas versus CPUE .....	173
APÊNDICE E .....	180
E.1 – ACP Região Q1 .....	180
E.2 – ACP Região Q2 .....	184
E.3 – Análise de Redundância (RDA) .....	188

## LISTA DE FIGURAS

1.1 - Área de estudo, correspondente à área de ocorrência da sardinha-verdadeira ( <i>Sardinella brasiliensis</i> ) na Plataforma Continental Sudeste do Brasil. Fonte: adaptado Castello (2006).....	3
---	---

1.2 - Área de estudo dividida em quatro regiões: Q1 e Q2 (macro-região sul e norte, respectivamente) e QM1 e QM2 (micro-região sul e norte, respectivamente).....	4
1.3 - Desembarque total anual de sardinha-verdadeira ( <i>Sardinella brasiliensis</i> ) por Estado entre 1964 e 2006. (Fonte dos dados: Programa Revizee, 2005).....	7
2.1 - Sardinha-verdadeira, <i>Sardinella brasiliensis</i> (STEINDACHNER, 1879). Comprimento total variável de 9 cm a 24 cm.....	24
2.2 - Área de distribuição, pesca e desova da sardinha-verdadeira ( <i>Sardinella brasiliensis</i> ) na PCSE entre os paralelos 22°S e 36°S, onde a isóbata de 50 m é incluída. (Fonte: adaptado CASTELLO, 2005).....	25
2.3- Fotos ilustrativas da pesca da sardinha-verdadeira com rede de cerco. (fonte: a- <a href="http://www.igp.pt">www.igp.pt</a> , b- ilustração da arte de cerco - <a href="http://www.ip.dgpa.min-agricultura.pt">www.ip.dgpa.min-agricultura.pt</a> , c- <a href="http://www.ilhagrande.org/Pesca-da-sardinha">www.ilhagrande.org/Pesca-da-sardinha</a> d- <a href="http://siaiacad04.univali.br/index_esp.php?id=22">siaiacad04.univali.br/index_esp.php?id=22</a> - GEP/Univali).....	30
2.4 - Fotos ilustrativas da pesca da sardinha-verdadeira com rede de cerco. Fonte: a) <a href="http://farm3.static.flickr.com/2104/2185356495_5b2476fe1a_o.jpg">http://farm3.static.flickr.com/2104/2185356495_5b2476fe1a_o.jpg</a> ; <a href="http://farm4.static.flickr.com/3132/2420200975_acd9bac393_o.jpg">http://farm4.static.flickr.com/3132/2420200975_acd9bac393_o.jpg</a> ; <a href="http://www.tcm.rj.gov.br/Noticias/2299/TW_IMAGEM.JPG">http://www.tcm.rj.gov.br/Noticias/2299/TW_IMAGEM.JPG</a> ; b) <a href="http://siaiacad04.univali.br/index_esp.php?id=22">siaiacad04.univali.br/index_esp.php?id=22</a> - GEP/Univali).....	31
3.1- Diagrama esquemático de procedimentos empregados.....	34
3.2 - Séries temporais de TSM do período de janeiro de 1985 e dezembro de 2006 geradas para as áreas de estudos Q1, Q2, QM1 e QM2 a partir dos dados originais do Pathfinder v5.0.....	36
3.3- Componentes $u$ ( $W_u$ ) e $v$ ( $W_v$ ) da velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) medido a 10 metros de altura para a área de estudo Q1(a) e Q2 (b) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006. (Fonte: NCEP-NCAR/NOAA, 2008).....	38
3.4- Representação esquemática do transporte de Ekman. No Hemisfério Norte (Sul) o transporte é à direita (esquerda) do vento.....	40
3.5 - Transporte de Ekman ( $kg.m^{-1}.s^{-1}$ ) estimado para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2007, para as áreas de estudo Q1 e Q2.....	40
3.6 - Índice Multivariado do ENSO (MEI) para o período de janeiro de 1985 a novembro de 2006. Valores positivos do MEI estão associados ao <i>El Niño</i> , enquanto os negativos estão associados a <i>La Niña</i> . Fonte de dados: NODC-NOAA (2007).....	43
3.7 - Índice de Oscilação Antártica (AAO) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006. Fonte de dados: ESRL/PSD-CDC/NOAA.....	45



3.8 - Índice do Gradiente Inter-Hemisférico da TSM no Oceano Atlântico (GITA) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006.....	46
3.9 - Exemplos da distribuição média espacial da captura da frota industrial de cerco do Estado de São Paulo (áreas Q2 e QM2), identificada pelo total de capturas registradas mensal por quadrante (10' x 10' lat / long) para os meses de outubro e novembro de 1996. (Fonte dos dados: Serviço de Controle da Produção Pesqueira Marinha do Estado de São Paulo / Instituto de Pesca).....	49
3.10 - Exemplo de distribuição espacial média da frota industrial de cerco do Estado de Santa Catarina (áreas Q1 e QM1) para o ano de 2006, identificando o número de viagens registradas por quadrante (30' x 30' lat / long). Fonte: Adaptado de UNIVALI/CTTMar (2007).....	50
3.11- Série temporal de captura total do cerco e captura da sardinha-verdadeira, em toneladas para as áreas de estudos (a) Q1 e QM1 no período de janeiro de 2000 à dezembro de 2006 e para (b) Q2 e QM2 no período de janeiro de 1990 à dezembro de 2007.....	51
3.12 - Correlação entre dados de captura da sardinha-verdadeira ( <i>S. brasiliensis</i> ) em ton/mês e valores de CPUE em ton/(número de barcos + número de lances). Correlação com r de 0,78 para um intervalo de confiança de 95 %.....	53
3.13 - Fluxograma metodológico das análises.....	65
4.1 – Climatologia a partir de médias mensais de TSM (°C) nas áreas de estudo para o período de 1985 a 2006.....	67
4.2 - Climatologia da componente zonal (u) do vento, em m.s <sup>-1</sup> , para as regiões de estudo Q1 e Q2 para o período de 1985 a 2006.....	68
4.3 - Climatologia da componente meridional (v) da velocidade do vento, em m.s <sup>-1</sup> , nas áreas de estudo Q1 e Q2 para o período de 1985 a 2006.....	69
4.4 - Climatologia do transporte de Ekman, em kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> , nas áreas de estudo Q1 e Q2 para o período de 1985 a 2006.....	70
4.5 - Anomalia mensal normalizada da TSM na área Q1 para o período de 1985 a 2006.....	72
4.6 - Comparativo entre séries temporais de ATSM e CPUE para a área Q1 para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.....	72
4.7 - Anomalia mensal normalizada da TSM na região QM1 para o período de 1985 a 2006.....	73
4.8 - Comparativo entre as séries de ATSM para a área QM1 e CPUE para a área Q1, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.....	74

4.9 - Anomalia mensal normalizada da TSM região Q2 para o período de 1985 a 2006.....	74
4.10 - Comparativo entre as séries temporais de ATSM e CPUE na area Q2 para o período de janeiro de 1990 à dezembro de 2006.....	75
4.11 - Anomalia mensal normalizada da TSM na região QM2 para o período de 1985 a 2006.....	75
4.12 - Comparativo entre as series temporais de ATSM e CPUE na area QM2 para o período de janeiro de 1990 à dezembro de 2006.....	76
4.13 – Série temporal do gradiente térmico horizontal (gradiente lateral) entre as regiões Q1 e QM1 e índice MEI para o período de janeiro de 1990 e dezembro de 2006.....	80
4.14 – Série temporal do gradiente térmico horizontal (gradiente lateral) entre as regiões Q2 e QM2 e índice MEI para o período de janeiro de 1990 e dezembro de 2006.....	81
4.15 - Série temporal do gradiente térmico horizontal (gradiente lateral) entre as regiões (a) Q1 e QM1, (b) Q2 e QM2 e índice GITA para o período de janeiro de 1990 e dezembro de 2006.....	82
4.16 - Anomalia mensal normalizada da componente zonal (u) da velocidade do vento na região Q1 para o período de 1985 a 2006.....	83
4.17 - Série temporal da anomalia mensal da componente zonal (u) da velocidade do vento e a CPUE da sardinha-verdadeira na área Q1, período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.....	84
4.18 - Anomalia mensal normalizada da componente zonal (u) da velocidade do vento na região Q2 para o período de 1985 a 2006.....	85
4.19 - Série temporal de anomalia da componente zonal da velocidade do vento e CPUE da sardinha-verdadeira na área Q2, no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.....	85
4.20 - Anomalia mensal normalizada da componente meridional (v) da velocidade do vento na região Q1 para o período de 1985 a 2006.....	86
4.21 - Série temporal de anomalia da componente meridional da velocidade do vento e CPUE da sardinha-verdadeira na área Q1, no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.....	86
4.22- Anomalia mensal normalizada da componente meridional (v) da velocidade do vento na região Q2 para o período de 1985 a 2006.....	87

4.23 - Séries temporais de anomalia da componente meridional (v) da velocidade do vento e CPUE na área Q2, período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.....	88
4.24 - Anomalia mensal normalizada do transporte de Ekman na região Q1 para o período de 1985 a 2006.....	89
4.25 – Comparativo entre series temporais de anomalia do transporte de Ekman e CPUE na área Q1, período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.....	90
4.26 - Anomalia média mensal normalizada do transporte de Ekman na região Q2 para o período de 1985 a 2006.....	90
4.27 - Séries temporais de anomalia do transporte de Ekman e CPUE da sardinha-verdadeira na área Q2, período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.....	91
4.28 - Percentual anual de participação da pesca da sardinha-verdadeira na pesca total de cerco, para período de 1990 a 2006. Q1 se refere ao Estado de Santa Catarina e Q2 ao Estado de São Paulo.....	93
4.29 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q1, para o período de 1985 a 2006.....	95
4.30 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área QM1, para o período de 1985 a 2006.....	96
4.31 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q2, para o período de 1985 a 2006.....	96
4.32 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área QM2 para o período de 1985 a 2006.....	97
4.33 - Série temporal da anomalia normalizada componente zonal (u) do vento (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q1.....	98
4.34 - Série temporal da anomalia normalizada componente zonal (u) do vento (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q2.....	99
4.35 - Série temporal da anomalia normalizada componente meridional (v) do vento (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) das áreas Q1 e Q2.....	100

4.36 - Série temporal da anomalia normalizada transporte de Ekman (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q1.....	101
4.37 - Série temporal da anomalia normalizada transporte de Ekman (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q2.....	102
4.38 - Série temporal dos índices climatológicos MEI (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita).....	103
4.39 - Série temporal dos índices climatológicos AAO (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita).....	104
4.40 - Série temporal dos índices climatológicos GITA (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita).....	105
D1 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice MEI e ATSM da área Q2. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM conduzindo a MEI em 90°, apontando para baixo; MEI conduzindo ATSM em 90°, apontando para cima.....	160
D2 – Idem à Figura D1a e D1b, mas para a componente ATSM da área Q2..	161
D3 – Idem à Figura D1a e D1b, mas para o índice GITA e ATSM da área Q2.....	162
D4 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice MEI e componente zonal do vento (AU) da área Q2. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM conduzindo a MEI em 90°, apontando para baixo; MEI conduzindo ATSM em 90°, apontando para cima.....	163
D5 – Idem à Figura D4a e D4b, mas para o índice MEI e a anomalia da componente meridional (AV) do vento da área Q1.....	164
D6 – Idem à Figura D4a e D4b, mas para o índice MEI e a anomalia da componente meridional (AV) do vento da área Q2.....	165

D7 – Idem à Figura D4a e D4b, mas para o índice MEI e a anomalia do transporte de Ekman (AEKM) da área Q2.....	166
D8 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice AAO e MEI. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; AAO conduzindo a MEI em 90°, apontando para baixo; MEI conduzindo AAO em 90°, apontando para cima.....	167
D9 – Idem à Figura D8a e D8b, mas para os índices MEI e GITA.....	168
D10 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice GITA (Dipolo) e CPUE em Q1 (CPUE1). (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; GITA conduzindo a CPUE1 em 90°, apontando para baixo; CPUE1 conduzindo GITA em 90°, apontando para cima.....	169
D11 – Idem à Figura D10a e D10b mas para o índice MEI e CPUE da área Q2 (CPUE2).....	170
D12 – Idem à Figura D10a e D10b mas para o índice AAO e CPUE da área Q2 (CPUE2).....	171
D13 – Idem à Figura D10a e D10b mas para o índice GITA e CPUE da área Q2 (CPUE2).....	172
D14 – Ondeleta cruzada das séries temporais de ATSM em Q2 e CPUE em Q1 (CPUE1). (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM_Q2 conduzindo a CPUE1 em 90°, apontando para baixo; CPUE1 conduzindo ATSM_Q2 em 90°, apontando para cima.....	173
D15 - Idem à Figura D14a e D14b mas para a anomalia da componente zonal do vento (AU) e CPUE, ambos da área Q1 (CPUE1).....	174
D16 – Idem à Figura D14a e D14b mas para a anomalia da componente meridional do vento e CPUE, ambos na área Q1.....	175

D17 – Idem à Figura D14a e D14b mas para a anomalia do transporte de Ekman na área Q2 (AEKMANQ2) e CPUE na área Q1 (CPUE1).....	176
D18 – Ondeleta cruzada das séries temporais de ATSM e CPUE, ambos em Q2. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM conduzindo a CPUE2 em 90°, apontando para baixo; CPUE2 conduzindo ATSM em 90°, apontando para cima.....	177
D19 – Idem à Figura D18a e D18b mas para a anomalia da componente meridional do vento (AV) e CPUE (CPUE2), ambos na área Q2.....	178
D20 – Idem à Figura D18a e D18b mas para a anomalia do transporte de Ekman (AEKMAN) e CPUE (CPUE2), ambos na área Q2..	179
E1 - Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q1 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente meridional projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Índice Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA: Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.....	180
E2 - Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q1 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente meridional projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Índice Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA: Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.....	181
E3 - Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais da área Q1 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.....	182
E4 - Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais da área Q1 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU:	

CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.....	183
E5 - Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixo) resultante da análise de componentes principais da área Q2 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.....	184
E6: Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixo) resultante da análise de componentes principais da área Q2 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.....	185
E7 - Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q2 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-hemisférico de TSM do Atlântico.....	186
E8 - Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q2 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-hemisférico de TSM do Atlântico.....	187
E9 - Plano Canônico de Análise de Redundância (RDA) para a área Q1 e Q2 aplicadas a matriz de CPUE e variáveis ambientais, onde A: anomalia, T: TSM, dipolo: GITA, U: componente zonal do vento e CPU: CPUE, considerando sua variabilidade sazonal.....	188

E10: Plano Canônico de Análise de Redundância (RDA) para a área Q1 e Q2 aplicadas a matriz de CPUE e variáveis ambientais, onde A: anomalia, T: TSM, dipolo: GITA, U: componente zonal do vento e CPU: CPUE, considerando sua variabilidade anual.....189



## LISTA DE TABELAS

1.1 - Localização das caixas (Q1, Q2, QM1 e QM2) na área de estudo.....	4
2.1 - Características termohalinas das massas d'água presentes na PCSE.....	17
2.2 - Características do radiômetro AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA.....	22
2.3 - Parâmetros de crescimento (modelo de von Bertalanffy) da sardinha-verdadeira para as regiões de ocorrência na Plataforma Continental Sudeste do Brasil. Onde: $L_{\infty}$ é o comprimento máximo teórico esperado; K é a constante associada a velocidade de crescimento ( $\text{ano}^{-1}$ ) e $t^0$ é um valor teórico associado ao comprimento zero.....	26
2.4 - Levantamento evolutivo da frota industrial pesqueira da sardinha-verdadeira no porto de Santos, considerando valores médios e total de desembarque anual.....	32
3.1- Anos com eventos ENOS e Gradiente Inter-Hemisférico de TSM no Atlântico (GITA) para o período de 1985 a 2006. (Fonte: adaptado Souza <i>et al.</i> , 2005).....	47
3.2 - Correlação (r) entre dados de captura, em toneladas/mês, e transformados em $\log_{10}$ e as diversas unidades de esforço (dias de pesca, número de barcos, número de lances e suas combinações) consideradas na área Q2.....	52
4.1 - Valores mínimos da anomalia normalizada da TSM adimensional entre 1985 e 2006 e o período de ocorrência.....	77
4.2- Valores máximos da anomalia normalizada da TSM adimensional entre 1985 e 2006 e o período de ocorrência.....	77
4.3 - Meses de ocorrência dos valores máximos e mínimos das anomalias normalizadas das variáveis investigadas nas respectivas áreas.....	92
4.4 - Períodos em anos dos maiores picos em relação ao total de energia da série de ATSM.....	94
4.5 - Maior coeficiente de correlação entre os índices climatológicos e as séries de ATSM e a respectiva defasagem de tempo (meses).....	107
4.6 - Maior coeficiente de correlação entre o índice MEI e as séries de componente zonal (u) e meridional (v) vento e transporte de Ekman e as respectivas defasagens de tempo (meses).....	109
4.7 - Maior coeficiente de correlação entre as séries dos índices climatológicos MEI, AAO e GITA e a respectiva defasagem de tempo (meses).....	110

4.8 - Maior coeficiente de correlação entre os índices climatológicos e as séries de CPUE e a respectiva defasagem de tempo (meses).....	112
4.9 - Maiores coeficientes de correlação entre as variáveis meteo-oceanográficas e as séries de CPUE e a respectiva defasagem de tempo (meses).....	114
A.1 - Região Q1 : (a) Média da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s; (b) Desvio padrão mensal da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s. Período considerado de 1985 a 2007.....	153
A.2 - Região Q2 : (a) Média da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s; (b) Desvio padrão mensal da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s. Período considerado de 1985 a 2007.....	154

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAO	Oscilação Antártica
AATSR	Advanced Along Track Scanning Radiometer
AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
ACC	Análise de Correspondência Canônica
ACP	Análise de Componentes Principais
AIA	Água Intermediária Antártica
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer
ANA	Agência Nacional de Águas
AO	Oscilação Ártica
APTA	Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
ASAP	Água Subantártica de Plataforma
ASTP	Água Subtropical de Plataforma
AT	Atlântico Tropical
ATN	Advanced TIROS-N
ATS	Atlântico Tropical Sul
ATSM	Anomalia da temperatura superficial do mar
ATSR	Along Track Scanning Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BSB	Bacia do Sudeste do Brasil
CAS	Corrente do Atlântico Sul
CB	Corrente do Brasil
CBM	Confluência Brasil-Malvinas
CCB	Corrente Costeira do Brasil
CDAS	Climate Data Assimilation System
CDC	Climate Diagnostic Center
CEM	Centro de Estudos do Mar
CEPSUL	Centro de Pesquisa e Gestão de Rec. Pesqueiros do Litoral Sudeste e Sul
CM	Corrente das Malvinas
CO	Coerência da Ondeleita
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTTMAR	Centro de Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar
DOE	Department of Energy

DOG	Derivative of Gaussian
ECO	Espectro Cruzado de Ondeletras
ENOS	El Niño - Oscilação Sul
ENVSAT	Environmental Satellite
ERS	European Remote Sensing Satellite
ESA	Agência Espacial Européia
FAO	Food Administration Organization
FST	Frente Sub-Tropical
GEP	Grupo de Estudos Pesqueiros
GHR SST-PP	GODAE High Resolution Sea Surface Temperature Pilot Project
GITA	Gradiente Inter-hemisférico de TSM do Oceano Atlântico
GLI	Global Imager
GODAE	Global Ocean Data Assimilation Experiment
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPE	Grupo Permanente de Estudos da Sardinha
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Instituto de Pesca do Estado de São Paulo
LKB	Parametrização tridimensional
MCSE	Margem Continental Sudeste Brasileiro
MCSST	Multichannel Sea-surface Temperatures
MDIC/SDP	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MEI	Multivariate El Niño Southern Oscillation Index
METEOSAT	Meteorological Satellite
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MSG	Meteosat Second Generation
NASDA	Agência Espacial Japonesa
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NLSST	Non Linear Sea Surface Temperature
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NODC	National Oceanographic Data Center
OAI	Open Access
OCTS	Ocean Color and Temperature Scanner
OLAP	Latin American Open Archives Portal

PCA	Plataforma Continental Argentina
PCS	Plataforma Continental Sul do Brasil
PCSE	Plataforma Continental Sudeste do Brasil
PDF	Probability Density Function
PIRATA	Research Moored Array in the Tropical Atlantic
PMEL	Pacific Marine Environmental Laboratory
PODAAC	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
PROA	Programa de Observadores de Bordo em Embarcações
RDA	Análise de Redundância
RSMAS	Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science
SAA	Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
SEAP	Secretaria Especial de Aquacultura e Pesca
SIESPE	Sistema Integrado de Estatística Pesqueira
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMRR	Scanning Multichannel Microwave Radiometer
SOG	Satellite Oceanography Group
SPRING	Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas
SR	Radiômetro de varredura
SSM/I	Spacial Sensor Microwave/Imager
TDF	Transformada Discreta de Fourier
TF	Transformada de Fourier
TIROS-N	Television Infrared Observation Satellite
TO	Transformada de ondaletas
TRF	Transformada Rápida de Fourier
TRM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura da superfície do mar
TXO	Transformada Cruzada de Ondeleta
UNIVALI	Universidade Vale do Itajaí
VisQMD	Ferramenta Gerencial para Banco de Dados Marinhos do IEMAPM
ZCIT	Zona de Confluência Inter-tropical

## LISTA DE SÍMBOLOS

$W^u, u$	Componente zonal do vento
$W^v, v$	Componente meridional do vento
$ V $	Magnitude do vento resultante
$\tau_x$	Componente zonal da tensão de cisalhamento do vento
$\tau_y$	Componente meridional da tensão de cisalhamento do vento
$C_D$	Coeficiente de arrasto
$\rho_{ar}$	Densidade do ar
$V$	Velocidade do vento a 10m da superfície
$f$	Parâmetro de Coriolis
$\omega$	Velocidade angular de rotação da terra
$\Phi$	Latitude
$L_\infty$	Comprimento máximo teórico esperado
$k$	Constante associada a velocidade de crescimento ( $\text{ano}^{-1}$ )
$t^0$	Valor teórico associado ao comprimento zero
$Ep$	Erro padrão
$k$	Defasagem de tempo ( <i>lag</i> )
$P$	Número total de observações da série
$p$	Nível de significância
$gl$	Número de graus de liberdade
$t$	Tempo
$x$	Série de tempo
$y$	Série de tempo
$x_t$	Valor da observação da série $x$ no tempo $t$
$y_t$	Valor da observação da série $y$ no tempo $t$
$\bar{x}$	Valor médio da série de tempo $x$
$\bar{y}$	Valor médio da série de tempo $y$
$\sigma$	Desvio padrão
$X$	Transformada Rápida de Fourier das séries de tempo
$c_{xy}$	Coeficiente de covariância cruzada das séries de tempo $x$ e $y$
$\psi$	Ondaleta-mãe
$W_{l,t'}$	Ondaleta contínua

$l$	Parâmetro de escala da ondeleta
$t'$	Parâmetro de translação da ondeleta
$m$	Ordem da derivada
$\eta$	Parâmetro de tempo adimensional
$L_\infty$	Comprimento
$P^*40^\circ S$	Pressão atmosférica a $40^\circ S$
$z$	Anomalia padronizada desvio padrão
$S_x$	Desvio padrão
$argW^{xy}$	Argumento complexo
$P_k^X, P_k^Y$	Background spectral
$Z_v(p)$	Nível de confiança
$S$	Operador de alisamento no tempo e na frequência

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Os ambientes costeiros e oceânicos contêm a maior parte da biodiversidade disponível no planeta. O conhecimento dos oceanos e suas feições contribuem para o entendimento da influência dos oceanos na variabilidade climática e na formação e comportamento de processos oceanográficos e suas relações com os recursos pesqueiros, e também facilitam a navegação, a pesca e a gestão ambiental dos oceanos.

A pesca, como atividade extrativista, deve ser feita de forma sustentada respeitando regras biológicas e naturais. No entanto sua administração nem sempre é uma tarefa simples. A capacidade de reposição dos estoques pesqueiros está sujeita à ação exploradora e a centenas de variáveis naturais, não podendo ser controladas pelo homem. Segundo estudos da FAO (1995, *in*: MDIC/SDP, 2007), no início da década de 1990, aproximadamente 69 % das espécies marinhas mais conhecidas se encontravam plenamente exploradas, ainda sob excesso de exploração, até esgotadas ou se recuperando de tal nível de utilização.

Cergole *et al.* (2005) sugerem que medidas apropriadas de conservação e gestão de recursos pesqueiros devam ter a finalidade de restabelecer os estoques das espécies ameaçadas por sobre-exploração e promover a otimização do esforço de captura, de modo que se produza o rendimento máximo sustentável desses recursos, sob os pontos de vista econômico, social e ecológico.

O entendimento das relações entre o clima e o recrutamento de peixes é útil para aprimorar metodologias analíticas de avaliação e previsão de recrutamento, mudanças na abundância e pesca (desembarque), usadas para recomendar uma política pesqueira mais coerente a longo prazo.

Um ótimo entre aspectos físicos e biológicos é, preferencialmente, buscado pelos peixes para seu desenvolvimento. Assim, um pleno conhecimento destas condições se torna uma etapa necessária para determinar e estudar as concentrações dos peixes e sua variabilidade temporal e espacial.



Mackenzie e Koster (2004), estudando o arenque (*Sprattus sprattus*) no Mar Báltico, verificaram que existe uma grande variabilidade interanual do recrutamento, independente da biomassa do estoque. Estes resultados foram obtidos por meio de avaliações anuais do estoque e da biologia dos peixes (crescimento, mortalidade, taxas de maturação, recrutamento), bem como das taxas de mortalidade oriundas da pesca como entradas para os cálculos representando a resposta biológica total às circunstâncias ambientais médias observadas no passado recente.

No Brasil, entende-se que a concentração e potencial do esforço de pesca estão relacionados com poucas espécies que suportam uma atividade econômica rentável, devido, entre outros fatores, à elevada biodiversidade faunística e a pequena densidade dos estoques pesqueiros nas águas brasileiras (CERGOLE *et al.*, 2005).

A espécie-alvo desse estudo é a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis* - Steindachner, 1879), considerada uma espécie tradicional nas capturas da região sul-sudeste do Brasil. É uma espécie de ocorrência costeira e de fácil captura, sendo pescada entre 10m e 100 m de profundidade. Esta espécie tem sido alvo de pesquisas desde a década de 1950 (ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1995). Diversos autores indicam que espécies do gênero *Sardinella* são sensíveis às mudanças das condições ambientais, que podem controlar a sazonalidade de seus movimentos (BINET, 1982, 1988, 1995; LONGHURST e WOOSTER, 1990; VAKILY e PAULY, 1995).

O trabalho foi desenvolvido em etapas, como seguem: 1) revisão bibliográfica; 2) compilação dos conhecimentos pretéritos da biologia e ecologia da espécie; 3) obtenção de dados da captura comercial da espécie para a região de estudo; 4) obtenção de dados meteorológicos e oceanográficos para a região de estudo; 5) análise estatística da variabilidade temporal da captura da sardinha e suas correlações com a variabilidade temporal dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos.

## **1.1 Área de estudo**

A área de estudo está compreendida entre os paralelos 23° 50'S (Cabo Frio) e 27° 50'S (Cabo de Santa Marta) e entre os meridianos 44° 30' e 48° 50' W (Figura 1.1), na Plataforma Continental Sudeste (PCSE), até isóbata de 200 m.

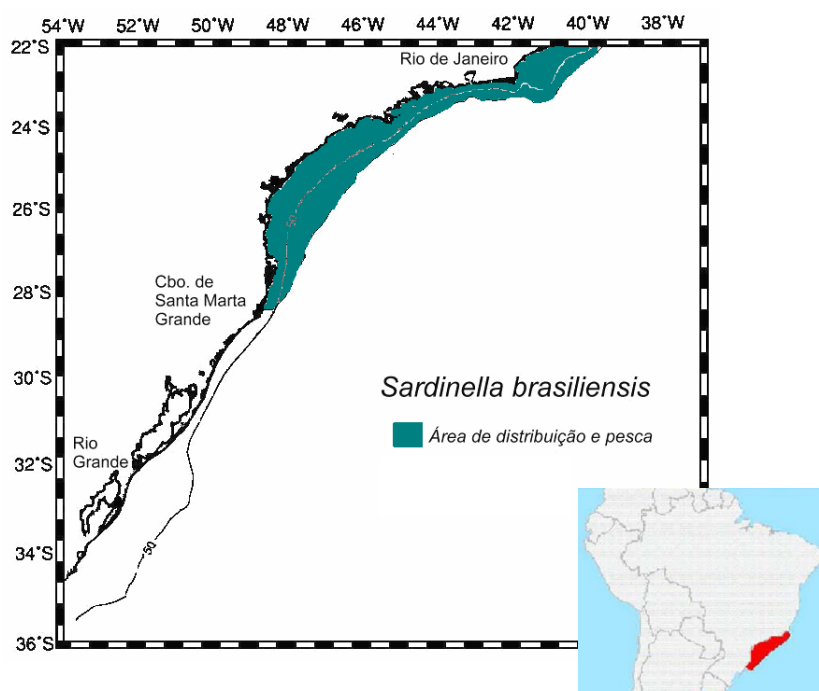


Figura 1.1 - Área de estudo, correspondente à área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) na Plataforma Continental Sudeste do Brasil. Fonte: adaptado de Castello (2006).

Essa área foi dividida em duas macro-regiões (Q1 e Q2) e duas micro-regiões (QM1 e QM2) (Figura 1.2, Tabela 1.1) baseadas na distribuição dos dados de esforço de pesca pretéritos disponíveis. Dessa forma espera-se poder melhor analisar as variações espaço-temporal das capturas em relação aos parâmetros meteorológicos e oceanográficos. A orientação geral da linha de costa é N-S para as áreas Q1 e QM1 e NE-SW para as áreas Q2 e QM2.

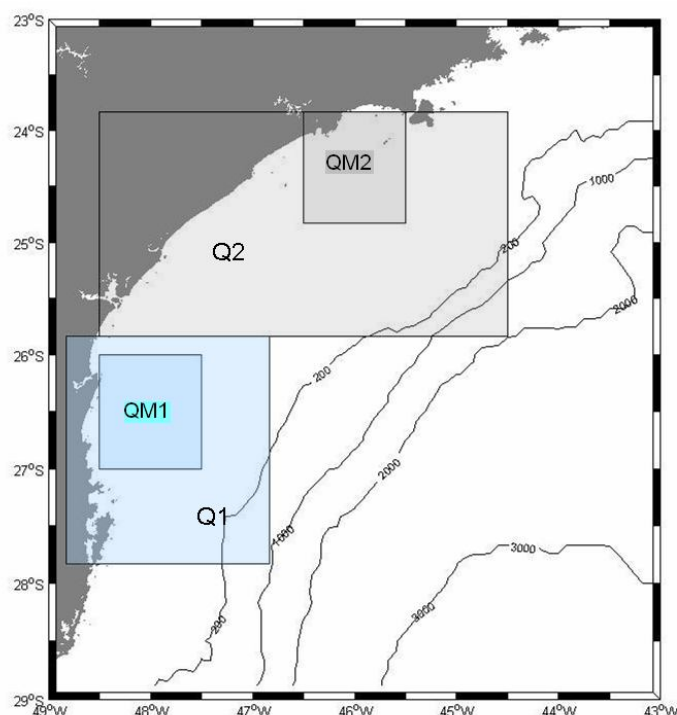


Figura 1.2: Área de estudo dividida em quatro regiões: Q1 e Q2 (macro-região sul e norte, respectivamente) e QM1 e QM2 (micro-região sul e norte, respectivamente).

Tabela 1.1: Localização das caixas (Q1, Q2, QM1 e QM2) na área de estudo

Limites	Q1		QM1		Q2		QM2	
	Lat	Long	Lat	Long	Lat	Long	Lat	Long
Noroeste	25° 50'S	46° 50'W	26° 00'S	47° 30'W	23° 50'S	44° 30'W	23° 50'S	45° 30'W
Sudeste	27° 50'S	48° 50'W	27° 00'S	48° 30'W	25° 50'S	48° 30'W	24° 50'S	46° 30'W

O critério de separação das áreas utilizado foi à abrangência dos pontos de pesca da frota de cerco registrados nos principais portos de desembarque da área de estudo, Itajaí (Q1 e QM1) no Estado de Santa Catarina e Santos (Q2 e QM2) no Estado de São Paulo. As áreas menores (QM) estão localizadas totalmente sobre a região costeira da PCSE e são influenciadas pela hidrodinâmica costeira. Essas caixas possuem tamanho de 1° de latitude por 1° de longitude. A divisão entre macro e micro-regiões foi feita buscando identificar processos advectivos das águas horizontais.

## **1.2 Variabilidade climática marinha estimada através de dados de sensoriamento remoto**

No Brasil, assim como em outros países emergentes onde a coleta de dados convencionais de oceanografia e meteorologia é prejudicada pela falta de investimentos, pela escassa frota de navios oceanográficos e plataformas automáticas de coleta de dados no oceano, a utilização de dados de sensoriamento remoto dos oceanos é indispensável como saída rápida, barata e eficiente para a estimativa da variabilidade climática marinha (SOUZA, 2005). As coletas contínuas e sistemáticas de dados por meio de sensoriamento remoto dos oceanos permitem estudar a variabilidade de certos fenômenos oceanográficos em escalas de tempo cada vez mais longas, contribuindo de forma decisiva para os estudos das flutuações dos parâmetros físicos marinhos nas escalas desde mensais até interanuais.

O Grupo Permanente de Estudo sobre Sardinha (GPE) recomenda, desde 1994, o uso de imagens de satélite para monitorar as condições oceânicas do local de atuação da frota pesqueira e pesquisar possíveis mudanças climáticas associadas à essa produção.

Durante o verão, as águas quentes e salinas da Corrente do Brasil influenciam águas situadas mais ao sul da PCSE, elevando a temperatura da superfície do mar (TSM) da região (CASTRO, 1996; STEVENSON *et al.*, 1998). Já no outono e inverno, a maior influência é de águas frias oriundas das altas latitudes, gerando um resfriamento da água sobre a plataforma interna sudeste e sul do Brasil. Durante o inverno há um enfraquecimento da Corrente do Brasil possibilitando uma grande intrusão de águas frias vindas do sul, com temperaturas próximas a 18°C, chegando a influenciar águas ao sul da plataforma continental do sudeste (PCSE), próximo à região de Cananéia, verificado por Oliveira (2005), pesquisando a sazonalidade de variáveis ambientais a partir de dados de sensoriamento remoto. Apesar da TSM, a partir de análise de regressão entre TSM e concentração de clorofila-a, ter explicado, em sua pesquisa, cerca de 50 % da variação da concentração de clorofila-a em seus dados, verificou que a concentração de clorofila-a varia inversamente com a TSM.

Comparando a concentração de clorofila-a e a produção pesqueira de sardinha-verdadeira no Estado de São Paulo, Gigliotti *et al.* (2007), não encontraram uma relação direta entre essas variáveis e indicaram que sua variabilidade não apresentava

defasagem temporal. Esses pesquisadores avaliaram também séries temporais de TSM (médias mensais) e CPUE (captura por unidade de esforço em peso por hora) e obtiveram uma melhor correlação (coeficiente de 0,32 e defasagem de 6 meses) entre essas variáveis após retirarem o sinal sazonal dos dados originais de TSM. Em períodos com altas intensidades de ventos, os autores observaram um aumento na CPUE. O bombeamento de Ekman, por outro lado, foi a variável oceanográfica, dentre as analisadas, que apresentou melhor correlação (coeficiente de 0,39 e defasagem de 1 mês) com a CPUE.

### **1.3 Variabilidade da pesca da sardinha-verdadeira**

Na segunda metade do século XX, a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) era a principal espécie-alvo capturada pela frota pesqueira comercial efetuada pelas traineiras operando na costa sudeste do Brasil. A atividade pesqueira da sardinha sofreu grandes variações de rendimento desde 1970 (capturas de cerca de 150.000 toneladas) até 2000 (capturas de cerca de 17.000 toneladas) e dois períodos de colapso, sendo um no final da década de 1980 e outro na década de 1990 (Figura 1.3). Nos anos 1970, o Estado do Rio de Janeiro contribuía com até 60% do desembarque total da sardinha-verdadeira. Na década de 1980, o Estado de São Paulo foi o destaque na participação nos desembarques industrial totais dessa espécie, mas reduziu sua representatividade na década de 1990. Santa Catarina superou os demais Estados desde a década de 1990, contribuindo com a maior parte da produção total do Sudeste/Sul, somando nos últimos 10 anos mais de 55% das capturas totais (CERGOLE *et al.*, 2005).

A redução das capturas, observada nos anos mais recentes, indica um comprometimento da viabilidade comercial das pescarias da sardinha-verdadeira na Bacia Sudeste do Brasil. A sardinha-verdadeira exibe grande sensibilidade às variações ambientais, e esta situação se agrava quando associada ao intensivo esforço de pesca, o que pode resultar numa grande redução de seu estoque (CERGOLE *et al.*, 2005).

Investigando o recrutamento da sardinha, Cergole *et al.* (2002) demonstram que o estoque dessa espécie sofre variações cíclicas com períodos de 10 anos, e que em cada ciclo ocorre um período favorável, com altos índices de abundância/captura, seguido de um período desfavorável.

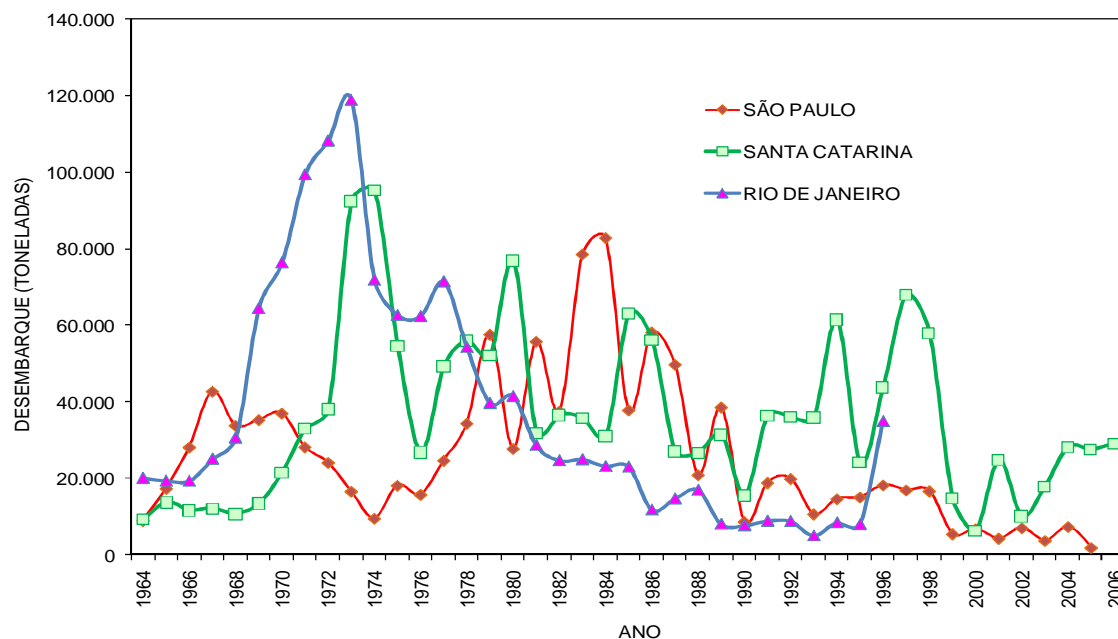


Figura 1.3: Desembarque total anual de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) por Estado entre 1964 e 2006. (Fonte dos dados: Programa Revizee, 2005)

Matsuura (1998) considerou a menor intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na plataforma continental, em alguns anos, como um fator determinante para as “falhas” do recrutamento da sardinha, pois a baixa eutrofização predominante das águas de origem tropical afetaria a sobrevivência das larvas da sardinha. Como as capturas da sardinha na Bacia Sudeste do Brasil estão baseadas em indivíduos com um e dois anos, Jablonski (2003) indica que o efeito da variação na concentração de nutrientes teria rápida resposta na captura da sardinha-verdadeira, principalmente se comparado com os possíveis efeitos em espécies de vida longa e capturas compostas por amplas faixas de classes etárias. Cergole (1995) verificou que os indivíduos de 1 a 2 anos podem representar até 96 % da captura da sardinha.

Em adição a isso, ventos fracos de baixa intensidade não permitiriam o enriquecimento adequado em nutrientes das águas na camada superior. Entretanto, intensidades de ventos extremos levariam ao aumento demasiado da turbulência nas camadas superficiais do mar. Isso causaria diminuição da concentração planctônica e uma maior dispersão e perda de larvas em direção ao oceano, assim, afastando as larvas de seu ambiente costeiro mais favorável (BAKUN, 1996). Jablonski (2003), analisando séries temporais de parâmetros calculados a partir do campo dos ventos (tensão de cisalhamento, turbulência e transporte de Ekman) e da TSM de longo período e utilizando

um modelo que engloba parâmetros oceanográficos e a biomassa do estoque desovante, sugere a existência de um ótimo de intensidade do vento e de TSM que garantiria o sucesso do recrutamento da sardinha-verdadeira.

Rossi-Wongtschowski *et al.* (1995) propõem que as flutuações do estoque da sardinha-verdadeira poderiam estar relacionadas aos fenômenos climáticos de grande escala, por exemplo, o El-Niño - Oscilação Sul (ENOS). Matsuura (1998) indica que as variações nas capturas dessa espécie, após a década de 1970, são ocasionadas pelas variações no recrutamento, resultado de anomalias oceanográficas de baixa frequência (condições atmosféricas e oceânicas regionais).

Independentemente da hipótese para a explicação da variabilidade no recrutamento da sardinha-verdadeira, a sobreexploração deve ser considerada como a principal causa para as baixas capturas, pois essa leva a uma conseqüente redução do estoque adulto. Entretanto, diversos autores indicam que, além da sobrepesca, outros fatores contribuem para a variação no recrutamento e disponibilidade da sardinha. Dentre esse fatores estão alguns fenômenos oceanográficos e climáticos de diferentes escalas espaço-temporais (MATSUURA, 1988; CERGOLE, 1995; ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1995; MATSUURA, 1996; SUNYÉ, 1999). Esses fatores ambientais devem influenciar especialmente a época de desova (JABLONSKI, 2003).

No momento da desova, a sardinha apresenta um comportamento peculiar agrupando-se junto à costa, devido à maior disponibilidade de alimentos e um ótimo de temperatura para o desenvolvimento de suas larvas e juvenis. Isso torna a espécie mais vulnerável à pesca. O defeso é um período de paralisação obrigatória da pesca sobre um determinado recurso pesqueiro. No caso da sardinha, a medida serve para proteger a espécie nas fases vulneráveis de seu ciclo de vida no período de pico da desova e do recrutamento da espécie. Com o defeso, a sardinha terá a oportunidade de se reproduzir ao menos uma vez na vida se capturada a partir de 17 cm.

O defeso da sardinha-verdadeira para as regiões sul e sudeste do Brasil foi regulamentado através da Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente (MMA/IBAMA) Nº 007 do ano de 2003, onde ficou proibida a pesca de sardinha-verdadeira nos períodos a seguir: a) de 1º de dezembro de 2003 a 1º de março de 2004; b) de 2 de julho de 2004 a 2 de setembro de 2004; c) de 1º de novembro de 2004 a 1º de março de 2005; d) de 21 de julho de 2005 a 20 de setembro de 2005; e) de 1º de

novembro de 2005 a 1º de março de 2006; f) de 11 de julho de 2006 a 10 de setembro de 2006 (IBAMA/CEPSUL, 2007).

A gestão da atividade pesqueira tem baixa participação das comunidades envolvidas, tornando-se pouco eficiente. Identificação de áreas-chave, inventário e monitoramento intensivo da atividade pesqueira, educação ambiental e melhoria na gestão de áreas protegidas são algumas ações sugeridas por Amaral e Jablonski (2005) para reverter esse quadro. Uma gestão mais integrada e participativa deve tornar mais efetivo o controle e a redução do esforço de pesca, bem como proporcionar um sistema efetivo de áreas protegidas e delimitar estratégias para a conservação da biodiversidade.

A rigidez dos períodos de defeso reprodutivo pode ocasionar um esforço de captura sobre o estoque desovante, provocando uma falha reprodutiva da população, devido à variação interanual do ciclo reprodutivo da sardinha-verdadeira. Essa inadequação dos períodos de defeso em relação à concentração do período de desova entre um ano e outro pode afetar o recrutamento futuro e, por consequência, a produção pesqueira.

A partir dos dados apresentados na reunião técnica sobre o panorama da pesca da sardinha-verdadeira nas regiões sudeste e sul, realizada pelo IBAMA no ano de 2000, foram feitas análises da situação atual dessa pescaria, onde foram observados diversos pontos tais como: a) queda das capturas, demonstrando uma diminuição no estoque; b) redução da CPUE no Estado de São Paulo; c) diminuição de 90% para 20% da participação da sardinha-verdadeira nas capturas da frota de traineira do Estado de Santa Catarina e um aumento do esforço de pesca; d) compensação do esforço de pesca em uma maior atividade da frota depois do defeso; e) o ciclo reprodutivo da sardinha-verdadeira se desloca temporalmente de ano para ano (IBAMA, 2000).

#### **1.4 Objetivos**

O objetivo principal do presente trabalho consiste em investigar relação entre a variabilidade climática marinha da Plataforma Continental Sudeste do Brasil a partir de dados obtidos por satélites e reanálises de modelos, e a pesca da sardinha-verdadeira.

De maneira específica os objetivos são:



- ❖ Descrever o comportamento temporal e espacial de variáveis meteo-oceanográficas derivadas de dados de satélite e de reanálises de modelos na área de ocorrência da sardinha-verdadeira. Essas variáveis são: a) temperatura da superfície do mar (TSM); b) vento na superfície do mar; c) transporte de Ekman e suas respectivas anomalias;
- ❖ Analisar a variabilidade interanual das variáveis ambientais e determinar a variabilidade climática marinha da área de estudo;
- ❖ Identificar possíveis processos de advecção horizontal de água superficial na área de estudo;
- ❖ Investigar a associação entre eventos do ENOS, Oscilação Antártica, Gradiente Inter-hemisférico da TSM no Oceano Atlântico, através de índices climatológicos e a variabilidade climática marinha das áreas de estudo;
- ❖ Relacionar os dados de captura georeferenciados da sardinha-verdadeira com as informações ambientais obtidas por sensoriamento remoto e os índices climatológicos MEI, AAO e GITA;

Com base nesses objetivos, algumas questões podem ser formuladas: a) Existe alguma diferença significativa na variabilidade climática marinha entre as áreas de estudo (micro e macro regiões)? b) Existe alguma relação entre o Atlântico Tropical Sul e fenômenos climáticos representados pelos índices climatológicos MEI, AAO e GITA, caracterizando uma teleconexão? c) Existe alguma relação entre a variabilidade climática marinha dos parâmetros analisados e a captura da sardinha-verdadeira?

## **1.5 Organização do Trabalho**

Para atingir os objetivos e questões levantadas nessa dissertação, o texto é organizado da seguinte forma:

CAPÍTULO 1 – Introdução geral do trabalho e determinação dos objetivos gerais e específicos.

**CAPÍTULO 2 (FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA):** neste capítulo serão apresentadas as características ambientais, oceanográficas e climatológicas relativas à área geográfica de ocorrência da sardinha-verdadeira; a evolução dos desembarques pela frota industrial; aspectos da biologia da sardinha-verdadeira (reprodução e crescimento); a situação atual do conhecimento do estado do estoque e sua interação com as variáveis ambientais, a utilização do sensoriamento remoto e modelos como fonte de dados ambientais meteorológicos e oceanográficos.

**CAPÍTULO 3 (MATERIAIS E MÉTODOS):** caracterização dos dados, procedimentos para a recuperação de dados ambientais a partir de sensoriamento remoto e utilização de dados de pesca, bem como as técnicas estatísticas e metodologia empregada para análise dos dados de captura (CPUE) e ambientais.

**CAPÍTULO 4 (RESULTADOS E DISCUSSÃO):** serão exibidos e discutidos os resultados, apresentadas as relações identificadas quanto à variabilidade climática marinha e entre dados de captura da sardinha-verdadeira e as variáveis ambientais.

**CAPÍTULO 5 (CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS):** baseando-se nos resultados oferecessem as conclusões, são sugeridas ações para a melhoria da gestão pesqueira sustentável da espécie estudada e além de temas para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 Oceanografia da Costa Sul-Sudeste do Brasil

Na costa sul-sudeste do Brasil, assim como em toda área adjacente, a circulação oceânica é muito influenciada pela circulação atmosférica continental e pela alta pressão subtropical. Existem fortes gradientes térmicos horizontais e laterais que caracterizam essa região do Oceano Atlântico Sul. A temperatura da superfície do mar diminui com o aumento da latitude em direção ao pólo sul devido, entre outros fatores, ao decréscimo da radiação solar. Entretanto, a PCSE (Plataforma Continental do Sudeste do Brasil) possui uma estrutura oceanográfica relativamente homogênea (CASTRO, 1990).

Na Bacia do Sudeste do Brasil (BSB), o fluxo dominante, em direção ao sul, da Corrente do Brasil (CB) ao longo do talude continental, transporta a Água Tropical (AT). A CB transporta um volume de massa de 10 a 20 Sv e apresenta uma forte intensificação desse transporte na região próxima à Confluência Brasil-Malvinas (CBM), onde se origina a Corrente do Atlântico Sul (CAS). Essa região de encontro de correntes é considerada uma das mais energéticas e complexas do mundo, com produção de fenômenos de mesoescala, como vórtices e meandros. No período de inverno (Junho-Setembro), o fluxo para o norte, de águas de origem subantártica, se caracteriza por alcançar, em alguns anos, latitudes até 23°S (CAMPOS *et al.*, 1996). Este padrão de circulação leva a uma grande oscilação do limite oeste da Frente Subtropical (FST).

Sobre a BSB, o verão é um período caracterizado por mínima turbulência, máxima radiação solar disponível para a fotossíntese e uma provável estratificação da camada superior da coluna d'água e coincidente com o período de reprodução da sardinha (BAKUN e PARRISH, 1990). Durante esse período, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) é levada ao fundo da plataforma continental (CASTRO *et al.*, 1987). Assim, uma alta heterogeneidade dos parâmetros oceanográficos e climáticos locais induz a variabilidade regional dentro da BSB (SUNYÉ e SERVAIN, 1999).

A penetração da ACAS na zona eufótica aumenta a produção primária na camada subsuperficial e contribui para a estabilidade vertical da coluna d'água, garantindo a

concentração de alimento adequado para as larvas de sardinha, e evita assim a dispersão de ovos e larvas para fora da área de desova.

A componente do vento paralela ao continente causa um transporte de massa, denominado transporte de Ekman, na camada superficial em direção ao mar aberto. Esse transporte permite a penetração de águas situadas ao largo em direção à costa, em sub-superfície, trazendo a ACAS desde a quebra da plataforma até as proximidades da costa. Vórtices e meandros ciclônicos podem agir também como fatores complementares para esse bombeamento da ACAS. Castro e Miranda (1998) identificaram a presença da ACAS a 50 km da costa, durante o verão. No inverno, entretanto, verifica-se sua retração para as proximidades da quebra da plataforma.

A variabilidade latitudinal da CBM interfere tanto sazonal e interanualmente no fluxo e na ação da ACAS sobre a plataforma continental (ANDERSON e RODHOUSE, 2001). Ressurgências de quebra de plataforma resultantes da ação de vórtices e meandros ciclônicos são importantes mecanismos capazes de trazer a ACAS da região do talude até a proximidade da costa.

As populações de peixes pelágicos aumentam com a proximidade de áreas típicas de ressurgência costeira, como por exemplo, a região de Cabo Frio, no Estado do Rio de Janeiro. Analisando imagens do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), Leão (2008) notou que o período considerado com número maior de ressurgências costeiras na Plataforma Continental do Sudeste do Brasil (PCSE) ocorreu entre os meses de outubro e janeiro, sendo que nos meses de março e abril também foram verificados eventos menos intensos.

A presença na PCSE de uma massa d'água fria e menos salina que a esperada, numa região próxima à latitude 23°S, sugeri que deva ser proveniente da Plataforma Continental da Argentina (PCA), perto da desembocadura do Rio da Prata, sendo relacionada com fenômenos do ENOS (CAMPOS *et al.*, 1999). A influência da descarga do Rio da Prata sobre as condições oceanográficas das PCSE e PCS foi verificada por Piola (2005). A variabilidade da produção primária na Plataforma Continental Sudeste e Sul (PCSE e PCS) do Brasil está possivelmente relacionada com as fases positivas e negativas de fenômenos ENOS e descarga da Lagoa dos Patos nessa região (CIOTTI *et al.*, 1995).

Lentini *et al.* (2000), correlacionando dados de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM) e eventos ENOS, determinaram uma frequência significativa para o período de 3,3 anos e uma defasagem temporal de 1,3 anos. No Atlântico Sudoeste a Corrente do Brasil (CB), quente e salina encontra-se com a Corrente das Malvinas (CM) fria e menos salina, formando a Convergência Subtropical (CS) ou Confluência Brasil-Malvinas (CBM), localizada ao largo das costas argentina e uruguaia, e caracterizada por um forte contraste termohalino (Frente Subtropical – FST). Correlacionando a variação da posição da CBM e eventos ENOS, Lentini *et al.* (2006), verificaram que mesmo em anos considerados neutros existem amplitudes comparáveis aos anos de El Niño e La Niña. Outros autores assim sugerem que outras causas poderiam levar a esse fenômeno, tais como anomalias da temperatura da superfície do mar fora da plataforma continental e a variabilidade regional do clima. A região da CBM é caracterizada por intensos processos de mistura horizontal e vertical, gradientes biológicos e áreas onde diversas espécies subtropicais e subantárticas podem ser observadas (KAMPEL e SOUZA, 2005).

A Corrente Costeira do Brasil (CCB) é uma corrente costeira relativamente lenta (velocidade média de  $11 \text{ cm.s}^{-1}$ ) mas altamente energética (energia cinética média varia de 17 a  $145 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$  e a energia cinética viscosa de 771 a  $2384 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ ), fluindo no sentido oposto a CB e ocorre sobre a plataforma continental durante o inverno e a primavera (SOUZA e ROBINSON, 2004). Esses autores, através de dados de TSM observaram que durante o mês de agosto a CCB atinge seu limite mais ao norte, próximo a latitude de  $25,2^\circ\text{S}$ . Isso seria provavelmente relacionado à oscilação da FST e do campo de ventos na costa brasileira. Souza (2000) demonstrou que gradientes térmicos horizontais entre CB e a CM e entre a CB e CCB são da ordem de  $0,1^\circ\text{C/km}$  e que a isoterma de  $20^\circ\text{C}$  encontra-se próximo ao centro desses gradientes. Estas instabilidades ocorrem ao longo da CB e da CCB, sugerindo que a CB pode alimentar a CCB na camada superficial (até profundidade de 50 m) devido à liberação de vórtices e meandros de núcleo quente. Por outro lado, a CCB também injeta anéis de núcleo frio na CB (SOUZA e ROBINSON, 2004). A ocorrência contínua de meandros e vórtices nessa região lhe confere uma dinâmica superficial altamente variável. Esses gradientes ocorrem a partir do cisalhamento das correntes que fluem em sentidos opostos, podendo se considerar a isoterma de  $20^\circ\text{C}$  como um bom delimitador geográfico entre as massas d'água transportada pelas duas correntes. Durante o ano, a isoterma de  $20^\circ\text{C}$  pode migrar até 1600 km.

### 2.1.1. Plataforma Continental

A PCSE se estende desde Cabo Frio (23°S), no Estado do Rio de Janeiro até o Cabo de Santa Marta (28°40'S), no Estado de Santa Catarina. A região localizada em frente à cidade de Santos é a parte mais larga da PCSE, com 230 km, e as regiões mais estreitas estão próximas à cidade de Cabo Frio, com 50 km e Cabo de Santa Marta, com 70 km de largura. O comprimento total da PCSE é de aproximadamente 1100 km, possuindo uma topografia suave e isóbatas paralelas à costa. A PCSE possui também grandes ilhas como Ilha Grande, Ilha de São Sebastião, Ilha de São Francisco e Ilha de Santa Catarina. A profundidade da quebra da plataforma da PCSE está entre 100 m e 180 m.

Diversos processos e fenômenos oceanográficos como meandros, vórtices, transporte de Ekman, ressurgências e subsidências, frentes e ondas internas ocorrem ao longo da borda da plataforma e no início do talude.

Uma forte ressurgência subsuperficial, em uma profundidade de 20 m, ocorre na área de estudo, principalmente sobre a isóbata de 50 m, onde a ACAS ocorre sobre o fundo da plataforma inteira, perto da costa. A diferença da temperatura da área de superfície e a ACAS é de aproximadamente 10°C, resultando numa forte estratificação térmica da coluna da água, com uma termoclina acentuada. Estes processos são importantes para a desova da sardinha-verdadeira, tendo variações anuais e espaciais que podem resultar em oscilações na estrutura da população e épocas de desova.

Durante o outono, a presença da Água Costeira (AC) sobre a plataforma continental é menos evidente, provavelmente devido à redução das chuvas nesta estação, e a área da plataforma continental passa a ser dominada pela AT. A ACAS é detectada também em profundidades rasas (30 m) e com temperaturas mais elevadas do que no verão.

Andrade (1996) e Souza (2000) sugerem que a TSM ao longo das regiões sudeste e sul é regida pela variabilidade sazonal da Convergência Subtropical. No verão, a frente da Convergência Subtropical tende a ocorrer mais ao sul, influenciando as águas da CB situadas mais ao sul e elevando a temperatura das águas ao longo da PCSE. No inverno, os maiores gradientes horizontais de temperatura são decorrentes da penetração de águas com temperaturas inferiores a 18°C transportadas pela CCB, entre as isóbatas de 50 m e 100 m.

### 2.1.2. Massas d'Água

A margem leste do Continente Sul-Americano é uma região de grande complexidade em termos de massas de água, apresentando fortes correntes baroclínicas e barotrópicas. Numerosos meandros e vórtices quentes e frios formados na Frente Subtropical e na zona de Convergência Brasil-Malvinas (CBM) são observados tanto no extremo sul da Corrente do Brasil (CB) como ao longo do limite norte da Corrente das Malvinas (CM). A CB domina a margem oeste do Giro Subtropical Superficial do Atlântico Sul, resfria-se e torna-se menos salina à medida que flui para o sul. Isso se reflete nas trocas da interface oceano-atmosfera e na composição de massas de água, devido à mistura com outras águas adjacentes.

A CB é a corrente de contorno oeste do Atlântico Sul que se origina ao sul de 10°S, a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, que forma também a Corrente Norte do Brasil em direção às Guianas. A CB está diretamente ligada à dinâmica de superfície do mar ao longo da costa brasileira, principalmente nas regiões sudeste e sul. Seu principal eixo flui para o sudoeste acompanhando a orientação da plataforma continental como uma corrente superficial rasa. Metade de seu transporte ocorre sobre a plataforma continental em profundidades inferiores a 200 m (TOMCZAK e GODFREY, 2001).

Nas proximidades do paralelo 24°S, a CB gira anticiclonicamente para sudoeste, quando penetra na plataforma continental (CASTRO, 1996). A CB começa a apresentar meandros e vórtices ciclônicos e anti-ciclônicos quando ela se desloca para sudoeste. Legeckis e Gordon (1982), Olson *et al.* (1988), Lentini *et al.* (2002) investigaram a formação de feições de mesoescala, como meandros e vórtices, por instabilidades dinâmicas causadas por interações entre a CB e a CM. Na área de influência da CB existe uma sobreposição das massas de água características do Oceano Atlântico Sul. Nos primeiros 3000 m da coluna d'água encontram-se a Água Tropical (AT), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Intermediária Antártica (AIA). Em geral as massas de água presentes na PCSE são resultado da mistura entre a Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Costeira (AC) (EMÍLSSON, 1961).

As massas d'água presentes na PCSE têm características termohalinas descritas conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Características termohalinas das massas d'água presentes na PCSE.

Massa d'Água	Temperatura	Salinidade	Características	Referência
Água Tropical (AT)	Quente (>20°C)	Salina (> 36,4)	Transportada pela CB na direção sul-sudoeste na camada superficial (0-200 m), sobre o talude continental e nas proximidades da quebra da plataforma	Castro e Miranda (1998)
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	Fria (< 20°C)	S < 36,4	Transportada na camada inferior da CB (200-500 m) e também para o sul-sudoeste ao longo do talude continental e próximo à quebra da plataforma continental	Castro e Miranda (1998)
Água Costeira (AC)	Variável com a estação do ano	Baixa Salinidade	Resultante da mistura do aporte continental de água doce com as águas da plataforma continental, possuindo uma das menores salinidade das águas da PCSE	Ciotti et al. (1996)

Duas outras massas d'água na região entre 20°S e 40°S são definidas por Piola *et al.* (2000), a Água Subantártica de Plataforma (ASAP) e a Água Subtropical de Plataforma (ASTP). A ASTP é derivada da Corrente Costeira da Patagônia e é diluída pelo aporte fluvial do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos em direção ao norte e se propaga sob a plataforma continental sudeste/sul do Brasil durante o período de inverno. Esta massa d'água está restrita a uma profundidade de 50 m. Souza e Robinson (2004) analisando imagens de TSM para um período de 13 anos, descreveram que essa intrusão de águas frias até latitudes próximas a 24°S poderia ser um processo comum e não anômalo que ocorre sobre a PCSE durante o inverno.

## 2.2 Sensoriamento Remoto

Os anos 1970 e 1980 consolidaram a importância de estudar os oceanos com dados de satélite. Devido às vantagens de proporcionar uma visão sinóptica, ou seja, maior abrangência espacial simultânea, facilidade de obtenção de imagens diárias e custo baixo, os produtos derivados a partir do sensoriamento remoto têm permitido o monitoramento regional e global anteriormente impraticável.

### 2.2.1 Temperatura da Superfície do Mar

A estimativa da temperatura da superfície do mar (TSM) através de satélites é uma das mais úteis aplicações oceanográficas. A água tem alta emissividade no infravermelho termal e a radiação de comprimento de onda longo é emitida desde o topo do oceano na direção dos sensores infravermelhos a bordo dos satélites. A partir de dados de radiação da lâmina superficial dos oceanos (camada milimétrica) estima-se a chamada temperatura



de pele (“*skin temperature*”) dos oceanos. Entretanto, para pesquisas, especialmente para estudos de mudanças climáticas globais, buscam-se medidas que forneçam a temperatura um pouco mais abaixo dessa lâmina, denominada de temperatura de balde (“*bulk temperature*”). A temperatura de pele pode diferir de alguns décimos de grau da temperatura de balde, que é aquela normalmente medida por instrumentos convencionais no mar. Oliveira (2001) estima que a diferença entre a temperatura de balde, medida a alguns metros abaixo da superfície do mar e a temperatura da camada superficial (temperatura de pele) pode variar entre  $-1\text{K}$  e  $+1\text{K}$ .

Resultados do projeto PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic), que busca o entendimento das interações para a variabilidade climática regional em diferentes escalas temporais, através de temperaturas obtidas por modelos e observadas, mostram que a temperatura de pele é sempre mais fria que a temperatura de balde a 1 m e que sua variabilidade diurna é mais importante (DOURADO e CALTABIANO, 2005).

#### **2.2.1.1 Outra Visão Sobre a Temperatura da Superfície do Mar**

Donlon *et al.* (2002) classifica a estrutura vertical da TSM como sendo:

a) temperatura da interface ( $TSM_{int}$ ): a temperatura na interface ar-mar ou a temperatura no topo da camada de pele que não pode ser mensurada por tecnologias atuais.

b) temperatura de pele ( $TSM_{pele}$ ): é a temperatura numa camada de aproximadamente  $500\text{ }\mu\text{m}$  de profundidade, medida por um radiômetro, onde são dominantes os processos de transferência de calor sensível e latente entre o oceano e a atmosfera.

c) temperatura da sub-pele ( $TSM_{subpele}$ ): representa a temperatura na base da camada onde é considerada a temperatura de pele, onde os processos de transferência de calor molecular e viscoso são predominantes. Essa temperatura pode ser estimada a partir de medições de radiômetros de microondas passivos em baixa frequência (6-10 GHz) e pode ser influenciada pelo aquecimento solar.

d) temperatura sub-superficial ( $TSM_{prof}$ ): freqüentemente referida como temperatura de balde onde dominam os processos de transferência de calor turbulento. Varia também com a profundidade, por isso normalmente se refere a uma profundidade na coluna

d'água específica, por exemplo,  $TSM_{5m}$  refere-se à TSM medida a 5 m de profundidade. Essa temperatura é normalmente medida através de bóias, perfiladores ou instrumentos a bordo de navios.

O grupo de profissionais do projeto internacional GHR SST-PP (GODAE High Resolution Sea Surface Temperature Pilot Project) do programa GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment), revisaram a definição da TSM e introduziram o conceito da Temperatura Fundamental ( $T_{ind}$ ), como sendo um valor de temperatura numa camada com boa mistura e sem os efeitos da camada de pele e do aquecimento diurno (DOURADO e CALTABIANO, 2005).

### **2.2.1.2 Importância da Temperatura da Superfície do Mar**

Dados sobre a TSM, além de necessários em diversos campos de estudo, têm significativa importância na modelagem atmosférica de tempo e clima, sendo utilizados como dados de entrada para esses modelos com finalidade de previsão e simulação das condições atmosféricas. A TSM regula a energia em forma de fluxo de calor entre o oceano e a atmosfera, cabendo-lhe um importante papel nos processos de interações na interface ar-mar.

A anomalia da TSM (ATSM) é mais empregada em estudos climáticos do que a própria TSM, pois esses estudos visam o entendimento das variações em relação a uma condição normal. A ATSM é dada pelo desvio (ou diferença) entre a TSM observada num determinado local durante um período de tempo e sua média durante um longo período de tempo (chamada média climatológica) para uma mesma região. Pequenas variações nos padrões da TSM também podem estar associadas a eventos climáticos como o El Niño (DOURADO e CALTABIANO, 2005).

Outras pesquisas tais como sobre a estrutura termal da camada superficial do oceano (ALVES *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2006a; SOUZA *et al.*, 2006b; TOKINAGA *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2005; LENTINI *et al.*, 2001; LENTINI *et al.*, 2000; CAMPOS *et al.*, 1999; ENFIELD e MAYER, 1997); feições de mesoescala nos oceanos tipo vórtices, anéis ou meandros (LENTINI *et al.*, 2006; SOUZA e ROBINSON, 2004; GARCIA *et al.*, 2004); gradientes horizontais de temperatura como frentes oceânicas (BONTEMPI e YODER, 2004; SOUZA, 2000; VIGAN *et al.*, 2000), fenômenos de ressurgência (KAMPEL *et al.*,

1997; LORENZZETTI e GAETA, 1996; HAMA *et al.*, 1991); estudos de climatologia em regiões específicas do oceano (LENTINI *et al.*, 2006) ou no oceano global (LLUCH-COTA *et al.*, 2003) também têm contribuído para indicar a importância de estimar a variabilidade espacial e temporal da TSM.

A variabilidade espacial e temporal da TSM desempenha uma importante função na determinação das condicionantes para a sobrevivência de organismos que habitam áreas costeiras ou águas rasas, assim como para a dinâmica das populações de peixes pelágicos e de organismos planctônicos, por exemplo. Dentre as variadas pesquisas bio-ecológicas que têm usado dados de TSM a partir de sensores orbitais podemos citar: Paes *et al.* (2007); Gregg (2002); Gregg e Casey (2006); Lehodey *et al.* (2006); Paes *et al.* (2006); Somoza *et al.* (2006); Soppa *et al.* (2006); Oliveira (2005); Oliveira *et al.* (2005); Saraceno *et al.* (2005); Zagaglia (2003); Sunye (1999); Sunye e Servain (1998).

Medições da TSM, *in situ*, realizadas por navios oceanográficos ou de oportunidade e instrumentos instalados em outras plataformas como bóias, são muito dispendiosas e apresentam descontinuidades temporais e espaciais. Por essa razão, a estimativa da TSM através do sensoriamento remoto tornou-se extremamente importante.

### **2.2.1.3 Principais Sensores Orbitais para Medição da TSM**

Os satélites meteorológicos geoestacionários, tais como o Meteosat e o GOES foram os primeiros que tinham a bordo sensores para aplicações oceanográficas, com um canal no visível e outro no infravermelho termal. A resolução espacial máxima destes sensores não ultrapassava 5 km x 5 km. As primeiras observações da TSM foram realizadas através das missões Mercury na década de 1960. O primeiro satélite da série TIROS-N (*Television Infrared Observation Satellite*) lançado a partir de 1978, carregava a bordo o primeiro sensor AVHRR que era um radiômetro de quatro canais. Os satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) começaram a operar em 1970 carregando um radiômetro de varredura (SR) e outro radiômetro de alta resolução. Ainda na década de 1970, ocorreu o lançamento da missão Seasat, com um radar altímetro e o instrumento SMMR (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*) a bordo. Já nos anos 1990 tivemos novos sensores como por exemplo, ATSR (*Along Track Scanning Radiometer*) e OCTS (*Ocean Color and Temperature Scanner*). Novas plataformas

também foram lançadas, como os satélites ENVISAT e AQUA possuindo novos sensores para estimar a TSM.

A série dos satélites NOAA evoluiu para uso de um sensor mais robusto transformando o sensor VHRR em AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Os últimos satélites lançados que pertencem à série NOAA foram o NOAA-14, lançado em dezembro de 1994, o NOAA-15, lançado em maio de 1998, o NOAA-16, lançado em setembro de 2000, o NOAA-17 foi lançado em 2002 e o NOAA-18 lançado em 2007. O NOAA-15 foi o primeiro de uma série de cinco satélites, com capacidade de imageamento e sondagem acrescidos (NOAA, 2000). O NOAA-18 substituiu o NOAA-16.

O uso de seqüências de imagens de satélite é uma forma alternativa e cada vez mais empregada, para estimar as correntes de superfície a partir do campo de velocidade advectiva superficial, principalmente com o uso de dados coletados na faixa do infravermelho termal pelo sensor AVHRR.

As imagens AVHRR são obtidas a partir dos satélites da série NOAA que percorrem órbitas heliossíncronas. O sensor AVHRR é um radiômetro de cinco canais que possui um ângulo de visada de 54,4° para cada lado do nadir, com uma cobertura total de varredura no terreno de aproximadamente 2700 km. Possui uma resolução espacial no terreno da ordem de 1,1 x 1,1 km no nadir e de 2,4 x 6,9 km para ângulos máximos de varredura. As características do sensor AVRRR encontram-se descritas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Características do radiômetro AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA

**AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)**

Resolução espacial no nadir	1,1 km (LAC) e 4,0 km (GAC)
Resolução temporal	1 dia
Resolução radiométrica	10 bits
Largura imageada	2700 km (+ 55,4° do nadir)

Banda	Comprimento de onda (µm)	Faixa do espectro	Utilização
C1	0,63 µm	Visível	Deteção de nuvens e discriminação entre terra
C2	0,91 µm	Infravermelho próximo	Deteção de nuvens e discriminação entre água
C3A *	1,61 µm	Infravermelho termal	Deteção de gelo e neve
C3B	3,7 µm	Infravermelho termal	Temperatura da superfície do mar
C4	10,8 µm	Infravermelho termal	Temperatura da superfície do mar
C5	12 µm	Infravermelho termal	Temperatura da superfície do mar

\*em operação a partir do satélite NOAA-15.

A NOAA opera com ao menos dois satélites trabalhando ao mesmo tempo, em órbitas separadas por  $90^{\circ}$  de longitude, ou 6 horas de defasagem na passagem de um e de outro satélite num mesmo ponto. Em 2007, o principal satélite para passagens noturnas (PM) era o NOAA-16, enquanto que para passagens diurnas (AM) era o satélite NOAA-17.

Outro importante sensor para fins oceanográficos é o ATSR (*Along Track Scanning Radiometer*), lançado em 1991 pela Agência Espacial Européia (ESA) a bordo do satélite ERS-1. Uma nova versão desse sensor foi lançada no ano de 2002 a bordo do satélite ENVISAT e foi denominado AATSR (*Advanced ATSR*).

A maioria dos satélites atualmente disponíveis para a estimativa de TSM opera na faixa do infravermelho termal, mas alguns trabalham na faixa das microondas. Nessa faixa do espectro a atenuação atmosférica pode ser considerada desprezível, pois a atmosfera é praticamente transparente. Sua resolução espacial é de 25 km aproximadamente. O SSM/I (*Spacial Sensor Microwave/Imager*), o imageador de microondas TMI do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e o AMSR (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*) do satélite AQUA são alguns exemplos desse tipo de radiômetros orbitais de microondas.

Outros sensores orbitais têm oferecido grande capacidade de obtenção de dados de TSM em alta resolução temporal. Dentre eles, podemos destacar os satélites meteorológicos (ex. GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite* e o MSG – *Meteosat Second Generation*) e o GLI (*Global Imager*) da Agência Espacial Japonesa (JAXA).

#### **2.2.1.4 Estimativa da TSM**

Os dados gerados pelo sensor AVHRR para estimativa da TSM é obtido a partir de três etapas: i) transformação dos números digitais (10 bits) em níveis de radiância aparente; ii) cálculo da temperatura de brilho da superfície do mar, como sendo a temperatura obtida por meio de medidas radiométricas, assumindo também que o alvo se comporta como um corpo negro; iii) determinação da temperatura de superfície do mar, por meio de algoritmos multicanais tipo MCSST (*Multi-channel Sea Surface Temperature Algorithm*) ou CPSST (*Cross-Product Sea Surface Temperature*). Os algoritmos multicanal são utilizados para determinar a “temperatura de balde”.

Devido à superfície do mar se assemelhar a um corpo negro (emissividade em torno de 0,98) e a uma superfície Lambertiana na região do infravermelho termal (entre 3 e 15  $\mu\text{m}$ ), a temperatura de brilho da superfície do mar pode ser facilmente comparada à temperatura real. Detalhes sobre essa e outras metodologias para obtenção da temperatura da superfície do mar a partir de sensores remotos podem ser verificados, dentre outros, em Anding e Kauth (1970), Hochleitner *et al.* (2005), Alves *et al.* (2006).

Outros pesquisadores como Walton (1988); Reynolds e Smith (1994); Dundas (1994); Smith *et al.* (1996); Donlon *et al.* (2002); Araujo (2003); Kampel *et al.* (2004) têm contribuído para melhorar a validação e a precisão dos dados de temperatura da superfície do mar obtidos por meio de sensores orbitais.

Os dados de TSM disponíveis do AVHRR variam horizontalmente em sua resolução espacial de 0,25° a 0,5° ou séries temporais com médias diárias, semanais ou mensais.

## **2.2.2 - Sensoriamento Remoto Aplicado à Pesca**

As técnicas de sensoriamento remoto, por apresentarem a possibilidade na obtenção de informações sinópticas em meso e grande escalas e com alta taxa de amostragem no tempo, têm auxiliado a exploração pesqueira principalmente de espécies pelágicas. Tais técnicas podem ainda ser utilizadas na busca de uma gestão sustentável desses recursos. Essa característica espaço-temporal dos dados de sensoriamento remoto é importante para a compreensão dos diversos parâmetros oceanográficos que possam influenciar a dinâmica populacional e a distribuição das espécies economicamente interessantes para a pesca. Não devem, entretanto, ser utilizadas somente para auxiliar as capturas e reduzir os custos da pesca e sim devem ter uma utilização mais abrangente visando um gerenciamento da biodiversidade em níveis sustentáveis desses recursos.

## **2.3 - Biologia da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*)**

### **2.3.1 - Área de Ocorrência**

A sardinha-verdadeira (Figura 2.1) é encontrada entre os Estados do Rio de Janeiro (Cabo de São Tomé, 22°S) e Santa Catarina, (ao sul do Cabo de Santa Marta Grande, 28°S), na Bacia do Sudeste do Brasil (Figura 2.2), sendo capturada, normalmente, entre

as isóbatas de 30 m e 100 m. Após a década de 1980, sua distribuição vem sendo concentrada ao sul da área de distribuição (CERGOLE *et al.*, 2005).



Figura 2.1: Sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879). Comprimento total variável de 9 cm a 24 cm.

### 2.3.2 - Desova e Crescimento

A sardinha tem uma estratégia de desova parcelada (MATSUURA, 1975; 1979), a cada onze dias e noturna (entre 21:00 h e 03:30 h), onde cada fêmea desova vários lotes de ovócitos durante a estação de desova (SACCARDO e WONGTSCHOWSKI, 1991; CASTELLO, 2005). Sua desova acontece nas camadas superficiais da coluna de água, sobre a plataforma continental, entre as isóbatas de 15 m a 50 m e a uma temperatura média de 24,3°C e salinidade de 35,2 durante várias vezes na primavera e verão (MATSUURA, 1998).

Analizando ovos e larvas de sardinha-verdadeira presentes no ictioplâncton, Matsuura (1998) verificou que o principal período de desova dessa espécie é o final da primavera e o verão com picos ocorrendo durante os meses de dezembro e janeiro, apresentando ainda variabilidade interanual na extensão da área de distribuição e na densidade desses ovos e larvas. Indicou também, que para a sardinha-verdadeira existe uma diferença de grupos populacionais com variadas taxas de crescimento relacionadas a um deslocamento espaço-temporal do pico de desova. Os meses de outono e inverno são dedicados ao repouso gonadal. Temperaturas maiores do que as consideradas ótimas, apresentariam efeito negativo sobre a desova e a sardinha provavelmente evitaria esses locais ou deslocaria temporalmente o pico da desova (SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991). A variabilidade ambiental é mais sentida durante as fases de vida entre a desova e o recrutamento, por uma maior sensibilidade dos ovos e das fases larvais e juvenis em relação às condições do meio.

A Figura 2.2 mostra a distribuição da espécie e os principais centros de desova na primavera e verão, determinados a partir do estudo da distribuição de seus ovos e larvas no plâncton (MATSUURA 1977; 1979; 1998). Através de observações ocasionais de atuneiros e iscadores, Castello (2005), relata registros de pequenos juvenis de sardinha-verdadeira na latitude 33°S. Estudando a desova da sardinha-verdadeira, Saccardo e seus colaboradores (1988), verificaram que ela se inicia frente ao Rio de Janeiro estendendo-se progressivamente para o sul. Dados de Matsuura (1998) sugerem que a área de desova (Figura 2.2) varia anualmente, concentrando-se nas regiões entre Ilha Grande (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP) e entre Paranaguá (PR) e Florianópolis (SC).

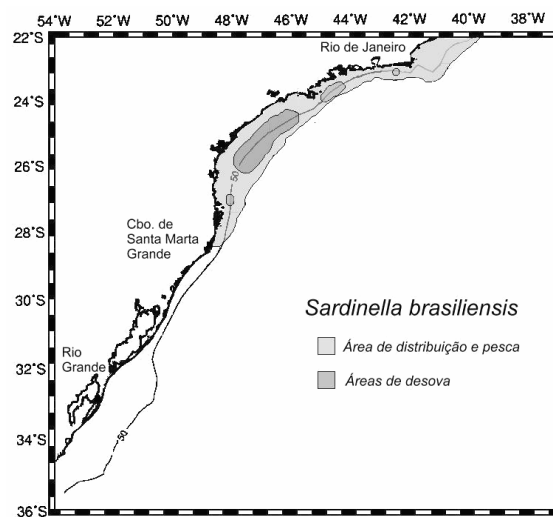


Figura 2.2: Área de distribuição, pesca e desova da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) na PCSE entre os paralelos 22°S e 36°S, onde a isóbata de 50 m é incluída. (Fonte: adaptado CASTELLO, 2005)

O estudo da idade e do crescimento muito contribui para o entendimento da dinâmica de uma população, permitindo a conversão de dados de comprimento em idade. A sardinha apresenta rápido crescimento, alcançando a primeira maturação com a idade de um ano e um comprimento total entre 16 cm e 17 cm. A longevidade não ultrapassa quatro anos, com os indivíduos atingindo um tamanho máximo de 27 cm (CERGOLE e VALENTINI, 1994).

Através de amostragem da pesca comercial em Santa Catarina, em 1998, Cergole et al. (2005) verificaram que a distribuição de frequência de comprimento se restringia a indivíduos entre 9 cm e 24 cm (com idades entre 0 e 3 anos), com predominância entre 17 cm e 20 cm. Nos anos 1980 eram freqüentes na pesca da sardinha-verdadeira indivíduos



com até 27 cm. Uma restrição na captura de peixes menores de 17 cm proporcionou uma redução no intervalo de comprimento predominante na pesca dessa espécie. A primeira maturação das fêmeas ocorre com um tamanho de 168 mm sendo que aos 210 mm todos os indivíduos são sexualmente maduros (ISAAC-NAHUM *et al.*, 1988) correspondendo ao término, respectivamente, das idades 0 e 1.

Castello (2005), reanalisou os parâmetros de crescimento para a sardinha-verdadeira, segundo o modelo de von Bertalanffy, para as diversas regiões de sua ocorrência, conforme Tabela 2.3. Saccardo e Rossi-Wongstchowski (1991), analisando a composição etária de sardinhas desembarcadas, concluíram que ocorreram classes de idade 0 e III, sendo as classes I e II as mais freqüentes. Cergole e Valentini (1994) e Saccardo *et al.* (1988) também reconheceram 4 classes de idade (0 – III). A taxa de mortalidade natural foi estimada aplicando o polinômio de Pauly (1980), com resultados diferentes devido à sua dependência dos parâmetros de von Bertalanffy (CASTELLO, 2005).

Tabela 2.3: Parâmetros de crescimento (modelo de von Bertalanffy) da sardinha-verdadeira para as regiões de ocorrência na Plataforma Continental Sudeste do Brasil. Onde:  $L_{\infty}$  é o comprimento máximo teórico esperado; K é a constante associada a velocidade de crescimento ( $\text{ano}^{-1}$ ) e  $t_0$  é um valor teórico associado ao comprimento zero.

Região de Ocorrência	$L_{\infty}$	K	$t_0$	FONTE
22 – 23°S	26,00	0,62	-0,59	Matsuura, 1983
22 – 23°S	23,29	0,62	-0,15	Vazzoler <i>et al.</i> , 1987
23 – 25°S	22,99	0,37	-1,05	Vazzoler <i>et al.</i> , 1987
25 – 26°S	11,52	1,02	-0,34	Vazzoler <i>et al.</i> , 1987
22 – 28°S (1982)	23,10	0,72	-0,23	Saccardo <i>et al.</i> , 1988
22 – 28°S (1983)	22,61	0,72	-0,34	Saccardo <i>et al.</i> , 1988
23 – 28°S	27,10	0,59	-0,15	Cergole e Valentini, 1994

Classes anuais fortes levam à rápida expansão do estoque, enquanto que classes anuais fracas provocam efeito inverso, pois essa espécie apresenta poucas classes etárias envolvidas na pescaria, tornando os indivíduos recém-recrutados fundamentais para a biomassa disponível.

Através da distribuição de freqüências de comprimento, período e locais de desova, caracteres morfológicos e estudos bioquímicos, Saccardo e Rossi-Wongtschowski (1991),

indicam a possibilidade de que a população de sardinha-verdadeira não constitua uma unidade homogênea, ao longo de toda sua área de distribuição.

### 2.3.3 - Recrutamento

O recrutamento biológico, ou repovoamento, é um processo em que os juvenis da sardinha-verdadeira (aproximadamente meio ano de vida) afastam-se da região mais próxima a costa em sentido ao mar aberto para agrupar-se à população adulta, incorporando-se ao cardume. Este evento inicia-se nos meses de abril, maio ou junho, dependendo do início da desova. Os indivíduos de vida curta, como a sardinha, têm a sustentação da população dependente deste recrutamento. Efeitos ambientais episódicos funcionam como um mecanismo de fertilização das águas, alterando a intensidade da desova, a sobrevivência larval e o recrutamento da sardinha (SCHWARTZLOSE *et al.*, 1999).

Matsuura (1998), entre outros pesquisadores, estudou parâmetros oceanográficos e meteorológicos regionais, como a penetração da ACAS sobre a PCSE, durante finais da primavera e do verão, sugerindo sua influência nas flutuações do estoque pesqueiro da sardinha. Autores como Cergole (1995); Magro *et al.* (2000) e Jablonski (2003), indicam que o recrutamento ao estoque pesqueiro da sardinha-verdadeira acontece de junho a agosto, com maior intensidade durante o mês de julho, envolvendo indivíduos com cerca de 9 cm de comprimento.

As falhas no recrutamento de 1987 e nas desovas do verão de 1987-1988, provavelmente estejam associadas à variabilidade climática e oceanográfica na PCSE (ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1995; CERGOLÉ, 1995). Essa variabilidade levou a um decréscimo nos desembarques de sardinha no ano de 1990, chegando a um total de apenas 32 mil toneladas. A desova no início de 1993 mostrou uma discreta recuperação, indicando uma situação de equilíbrio do recrutamento num nível inferior de crescimento.

A pesca da sardinha-verdadeira na região entre Cabo Frio no Estado do Rio de Janeiro e Iguaba Grande também no Estado do Rio de Janeiro (RJ), segundo Sunyé e Servain (1999), é principalmente afetada por parâmetros meteorológicos. Enquanto que, na área entre Florianópolis no Estado de Santa Catarina (SC) e Torres no Estado do Rio Grande do Sul (RS), os parâmetros oceanográficos são os que mais afetariam a captura da sardinha-verdadeira. Para o setor entre Angra dos Reis (RJ) e Paranaguá no Estado no

Paraná (PR), os pesquisadores encontraram uma correlação inversa entre desembarque e precipitação, enquanto que no sul (de Florianópolis até Torres), os desembarques são mais correlacionados (positivamente) com a salinidade e a TSM. Esses resultados foram obtidos a partir de análise de matrizes de similaridade (MDS). Embora exista uma alta variabilidade mensal na pesca da sardinha-verdadeira, uma diferença sazonal pode ser observada em cada uma das áreas por eles estudadas.

Esses autores, analisando resultados de regressão múltipla concluíram que as maiores correlações entre capturas e dados ambientais são obtidas para os Estados de São Paulo e de Santa Catarina. Em Santa Catarina, as capturas foram principalmente correlacionadas com os parâmetros oceanográficos, combinando salinidade, temperatura e evaporação ( $r^2 = 0,84$ ).

Para uma estabilidade no tamanho do estoque pesqueiro, fatores como uma desova consistente e uma alta sobrevivência das larvas são importantes e favorecem o sucesso no recrutamento. As condições oceanográficas desfavoráveis para a desova podem determinar a redução na biomassa a níveis críticos e o comprometimento do recrutamento futuro. Vento pouco intenso não permitiria o enriquecimento adequado em nutrientes das águas na camada superior; enquanto, intensidade mais forte provocaria aumento da turbulência e consequente quebra nas concentrações planctônicas, dispersão *offshore* e perda de larvas, afastando-as de seu ambiente costeiro mais favorável (BAKUN, 1996).

O impacto das mudanças climáticas podem ser sentidos pelos sistemas ecológicos (STENSETH *et al.*, 2002). Binet (1982), Cury e Roy (1989), Glandz e Feinglod (1990), Rossi-Wongtschowski *et al.* (1996), Matsuura (1998), Sunnys (1999), Jablonski (2003, 2007), Paes *et al.* (2006), Gigliotti *et al.* (2007) são alguns dos pesquisadores que têm destacado a influência da variabilidade climática na dinâmica das populações das diversas espécies de sardinha.

#### **2.3.4 Pesca (tradição, métodos, mercado)**

A pesca industrial costeira no Brasil é realizada por embarcações de maior autonomia, capazes de operar em áreas mais distantes da costa. Esses barcos apresentam mecanização a bordo para a operacionalização dos petrechos de captura; propulsão motorizada, sempre com motores diesel; equipamento eletrônico de navegação e

detecção; o material do casco pode ser de aço ou madeira. O segmento da pesca industrial costeira no Brasil está concentrado na captura dos principais recursos em volume ou valor da produção, com destaque para: sardinha, atuns e afins e camarões.

O desembarque de sardinha-verdadeira ocorre principalmente em regiões próximas às áreas de pesca devido à fragilidade da espécie, a quantidade pescada e ao sistema de refrigeração dos barcos de pesca. A pesca da sardinha-verdadeira também está restrita a 50-60 m de profundidade, não ocorrendo em águas profundas.

Outra característica da pesca da sardinha-verdadeira é que o período de reprodução coincide com o pico da safra de abril a junho e o período de entressafra (julho a setembro) está relacionado com a época de recrutamento. O outro pico da safra (novembro) ocorre imediatamente após esse período, devendo existir uma relação entre a concentração dos cardumes e época de desova da sardinha.

A frota industrial de traineiras que atua na pesca extrativa da sardinha-verdadeira, entre Cabo Frio (23°S) e a Ilha de Santa Catarina (27°S), basicamente utiliza redes de cerco retangulares, com comprimento de 700 m a 900 m, altura esticada de 70 m a 90 m e em operação de 50 m a 60 m, e malha de 12 nm. Atualmente, atuando no Estado de São Paulo, encontram-se redes de cerco de até 2000 m de comprimento.

A rede de cerco (Figura 2.3) consiste em uma grande rede utilizada para cercar cardumes de peixes. Os cardumes podem ser capturados junto à superfície, à meia-água ou próximo ao fundo, dependendo da altura da rede e da profundidade do local. A captura ocorre após o fechamento da rede, que resulta na formação de uma "bolsa" onde os peixes ficam retidos. Com o recolhimento da rede, a "bolsa" reduz de tamanho de forma gradativa até o momento adequado para a despesca. As maiores redes empregadas pela frota de Santa Catarina atingem 950 m de comprimento e 85 m de altura. As malhas das redes são pequenas, para evitar o emalhe dos peixes capturados. Por outro lado, se a captura não for desejada, é possível abrir a rede e liberar os peixes ainda com vida. A frota de cerco é voltada fundamentalmente à captura da sardinha-verdadeira, embora espécies como a cavalinha, corvina, enchova, palombeta, sardinha-lage e tainha também sejam importantes.



Figura 2.3: Fotos ilustrativas da pesca da sardinha-verdadeira com rede de cerco.

Para a região de Santos, a maioria das traineiras (Figura 2.4a) utiliza redes de cerco com comprimento de 800 m, altura esticada de 75 m e em operação de 50 m, com malha de 13 nm. Analisando dados do Instituto de Pesca do Estado de São Paulo, Gasalla et al. (2003) observaram que durante o período de 1995 a 1999 foram desembarcados no Estado de São Paulo 149 barcos, num total de 5042 viagens de pesca e rendimento médio para a pesca da sardinha de 10,7 ton/lance. Esses autores também verificaram que houve um aumento do esforço e da captura de 1996 e 1997. Mas, mesmo com aumento no número de lances de 1998 e 1999, observaram um decréscimo e uma queda abrupta em 1999, fruto de uma provável diminuição na disponibilidade do recurso em 1999. A atividade da frota, nessa região, relacionada com o número de barcos desembarcados, viagens e lances, apresenta picos de maior atividade durante o mês de novembro e abril (período de safra) e de menor atividade durante o período de inverno (período de entressafra), com exceção a alguns anos (1995 e 1997). De 2000 a 2007 o rendimento médio para a pesca da sardinha-verdadeira foi de 13,92 ton/lance.

## a) Frota de Santos



## b) Frota de Itajaí



Figura 2.4: Embarcações típicas (traineiras) da frota industrial da pesca de sardinha-verdadeira e na pesca de cerco.

No ano de 2000, a frota em operação na região Sudeste/Sul era composta por 185 embarcações, sendo que 86 estão sediadas no Estado do Rio de Janeiro, 29 no Estado de São Paulo e 70 no Estado de Santa Catarina. Apesar de uma diminuição aproximada de 42 % no número de embarcações em Santa Catarina entre 1990 e 2000, a participação na frota sardineira nacional aumentou de 31 % para 38 %.

No Estado de Santa Catarina, os principais pontos de desembarque são Itajaí e Navegantes, representando 93 % da produção pesqueira industrial do estado, do qual 55 % são provenientes da frota de traineiras. No Estado de São Paulo, o principal ponto de desembarque é o porto de Santos.

A frota de cerco ou de traineiras, em Santa Catarina, é formada por 111 unidades. Em média, estas embarcações (Figura 2.4b) possuem 22,8 m de comprimento total, 97 t de arqueação bruta, motor principal com 321 Hp e são tripuladas por cerca de 16 pessoas (SCHWINGEL e OCCHIALINI, 2003). Cerca de 70 % da frota possui casco de madeira e 30% casco de aço. Todas as embarcações conservam o pescado a bordo em gelo. A média de idade da frota atuante no Estado é de 19 anos, embora sejam registrados

barcos entre 1 e 40 anos de idade. A produção anual dessa frota em Santa Catarina foi de 36.380 t em 2001 e de 22.328 t em 2002.

Tabela 2.4: Levantamento evolutivo da frota industrial pesqueira da sardinha-verdadeira no porto de Santos, considerando valores médios e total de desembarque anual.

Dados da Pesca Comercial	Número Desembarques	Numero de Lances / Viagem	Tempo Médio dos Lances (horas)	Número Médio de Dias de Pesca / Viagem
1990	983	1,092	2,800	1,013
1991	1172	1,084	3,170	1,015
1992	1335	1,131	2,970	1,017
1993	923	1,231	2,680	1,056
1994	875	1,074	2,530	1,031
1995	1110	1,053	2,500	1,013
1996	786	1,073	3,470	1,028
1997	856	1,093	3,480	1,042
1998	783	1,073	3,680	1,013
1999	514	1,262	3,330	1,070
2000	611	1,185	4,600	1,045
2001	191	1,188	2,880	1,053
2002	648	1,122	2,730	1,061
2003	418	1,309	2,880	1,111
2004	316	1,434	3,330	1,073
2005	64	1,415	3,030	1,250
2006	581	1,222	3,080	1,081
2007	493	1,698	3,020	1,132

Analisando a evolução da frota industrial pesqueira da sardinha-verdadeira para o porto de Santos, observou-se o número máximo de dias de pesca/viagem de até 13 dias (março de 2007). O tempo de cada lance variou entre apenas 30 minutos (em novembro de 1992 e outubro de 2007) e 15 horas (em julho de 1998 e abril de 2007) aproximadamente. O número de lances por viagem variou com um máximo de 27 lances em abril de 2003 e um mínimo de 1 lance/viagem em 99,5 % de todos os desembarques efetuados no porto de Santos. As maiores quantidades de desembarques (Tabela 5) realizados de capturas de sardinha-verdadeira foram 1335 desembarques, para o ano de 1992, e 1172 desembarques para o ano de 1991 para a mesma área. No ano de 2005 ocorreu a menor quantidade de desembarque de sardinha-verdadeira no porto de Santos, seguido pelo ano de 2001 com um total de 191 desembarques.

O Brasil exporta pescados para aproximadamente 50 países, sendo que os principais mercados de destino, mais representativos e mais regulares são os Estados Unidos, a Argentina, o Japão e Porto Rico. Segundo o Ministério do Desenvolvimento do Brasil (MDIC/SDP, 2007), a redução dos valores exportados de pescados tem como principais causas: a) redução dos estoques pesqueiros; b) baixa escala dos produtos exportáveis; c) altos custos de captura, armazenamento e processamento, agregando valores no preço final do produto.

A redução de custos advinda da política tributária nos países do Mercosul tem feito com que empresários brasileiros do setor pesqueiro deixem de investir em suas próprias regiões para fazê-lo em outros países. Por exemplo, na Argentina e no Uruguai todos os equipamentos, máquinas e insumos utilizados na atividade pesqueira estão totalmente isentos de quaisquer tributos ou taxas.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAS E MÉTODOS

#### 3.1 Dados

Os procedimentos empregados em todas as fases são descritos em maior detalhe nos itens deste capítulo, e podem ser visualizados de uma forma geral no diagrama da Figura 3.1.



Figura 3.1: Diagrama esquemático de procedimentos empregados.

##### 3.1.1 Dados de Reanálises

As reanálises são conjuntos de dados atmosféricos ou oceanográficos gerados a partir de combinação de dados observacionais (como satélites, estações meteorológicas, bóias de deriva e fundeadas, navios de pesquisa) e modelos numéricos atmosféricos (PEZZI e SOUZA, 2005). Neste trabalho, os dados do vento na superfície do mar foram obtidos a partir de projetos de reanálise, os quais fazem parte do banco de dados dos *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR; EBISUZAKI *et al.*, 1998; KANAMITSU *et al.*, 2002). Estes bancos estão

disponíveis no endereço eletrônico <<http://www.cdc.noaa.gov/>>. A baixa resolução espacial do modelo é a principal desvantagem no uso de dados de reanálises em comparação com dados de satélite.

### 3.1.2 Dados de Satélites

Os dados de satélites usados aqui são obtidos através do sensor orbital AVHRR (*Advanced Very-High Resolution Radiometer*) a bordo dos satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), com resolução espacial a nadir de 1,1 km, resolução temporal de duas passagens por dia por satélite e largura da faixa imageada do terreno (varredura) estimada em 2700 km. Os satélites da série NOAA descrevem órbita quase-polar, sol-síncronica. Estão atualmente em operação os satélites NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17 e NOAA-18.

#### 3.1.2.1 Temperatura da Superfície do Mar

Os dados de TSM estão disponibilizados a partir do banco de dados global do projeto *Pathfinder versão 5.0* (PV5) desenvolvido pelo NODC (*National Oceanographic Data Center*) e pela RSMAS (*University of Miami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science*) e oferecidos pelo PODAAC (*Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*). O conjunto de dados de TSM utilizados aqui foi o denominado “*Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST Field*” processado com o algoritmo NLSST (*Non Linear Sea Surface Temperature*) (recomendado por SOUZA *et al.*, 2005). Essa base de dados é derivada de dados históricos globais dos radiômetros AVHRR a bordo dos satélites NOAA desde o NOAA-9 até o presente. O banco de dados do *Pathfinder* representa um reprocessamento histórico de todas as séries de tempo de dados do AVHRR usando algoritmos mais consistentes para a determinação da TSM, melhor calibração individual e inter-satélites dos sensores, melhor controle de qualidade dos dados e algoritmo de detecção de nuvens (NODC/SOG, 2006). O produto PV5 tem uma resolução espacial de 4 km x 4 km. Os dados PV5 foram obtidos em grades globais regulares a partir do endereço eletrônico <[ftp://podaac.jpl.nasa.gov/sea\\_surface\\_temperature/avhrr/pathfinder/data\\_v5](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/data_v5)> para o período entre janeiro de 1985 até dezembro de 2006 na resolução temporal mensal (Figura 3.2). Foram calculadas médias mensais de TSM nas quatro áreas específicas da PCSE selecionadas para esse estudo e período.

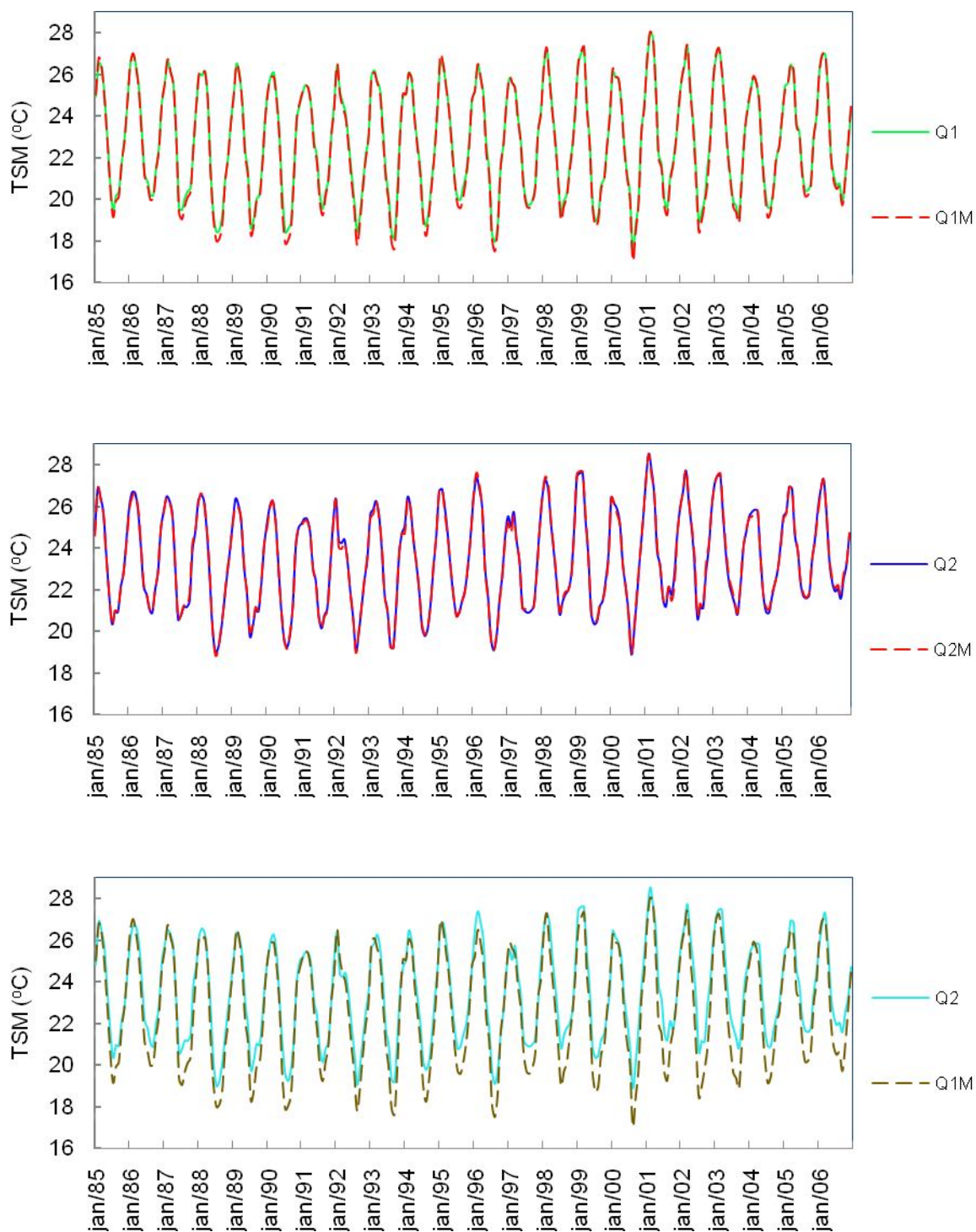


Figura 3.2: Séries temporais de TSM do período de janeiro de 1985 e dezembro de 2006 geradas para as áreas de estudos Q1, Q2, QM1 e QM2 a partir dos dados originais do Pathfinder v5.0.

### 3.1.2.2 Dados de Vento na Superfície do Mar

Os dados de vento foram obtidos do banco NCEP/NCAR Reanalysis Project (*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*) *N/N Reanalysis* (EBISUZAKI *et al.*, 1998) e *Reanalysis 2* (KANAMITSU *et al.*, 2002). Dados de reanálises são dados gerados a partir do ajuste entre dados observacionais atmosféricos ou oceanográficos com dados de modelos matemáticos. Os resultados são distribuídos em grade global gaussiana numa resolução espacial aproximada de  $1,9^\circ$  latitude x  $1,8^\circ$  longitude, em médias diárias e mensais. O período desses dados é de 1985 a 2006. Para esse estudo, foram utilizados os dados de médias mensais das componentes  $u$  ( $W_u$ ) e  $v$  ( $W_v$ ) (*Figura 3.3a, b*) ao nível de 10 metros da superfície do mar para as áreas Q1 e Q2. As áreas menores (QM1 e QM2) não foram consideradas devido à resolução espacial dos dados originais das reanálises. Para formar as séries de anomalia das componentes zonal e meridional do vento foram utilizados dados do CDAS (Climate Data Assimilation System) que utilizam séries do período de 1979 a 1995 como séries climatológicas. Os dados de vento e suas anomalias foram obtidos pelos endereços eletrônicos: <http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin> e [http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep\\_data/index.html](http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep_data/index.html). Maiores informações sobre o projeto de reanálise do NCEP-DOE *Reanalysis 2* são descritas por Kanamitsu *et al.* (2002) e sobre modelos de dados de reanálises em Pezzi e Souza (2005).

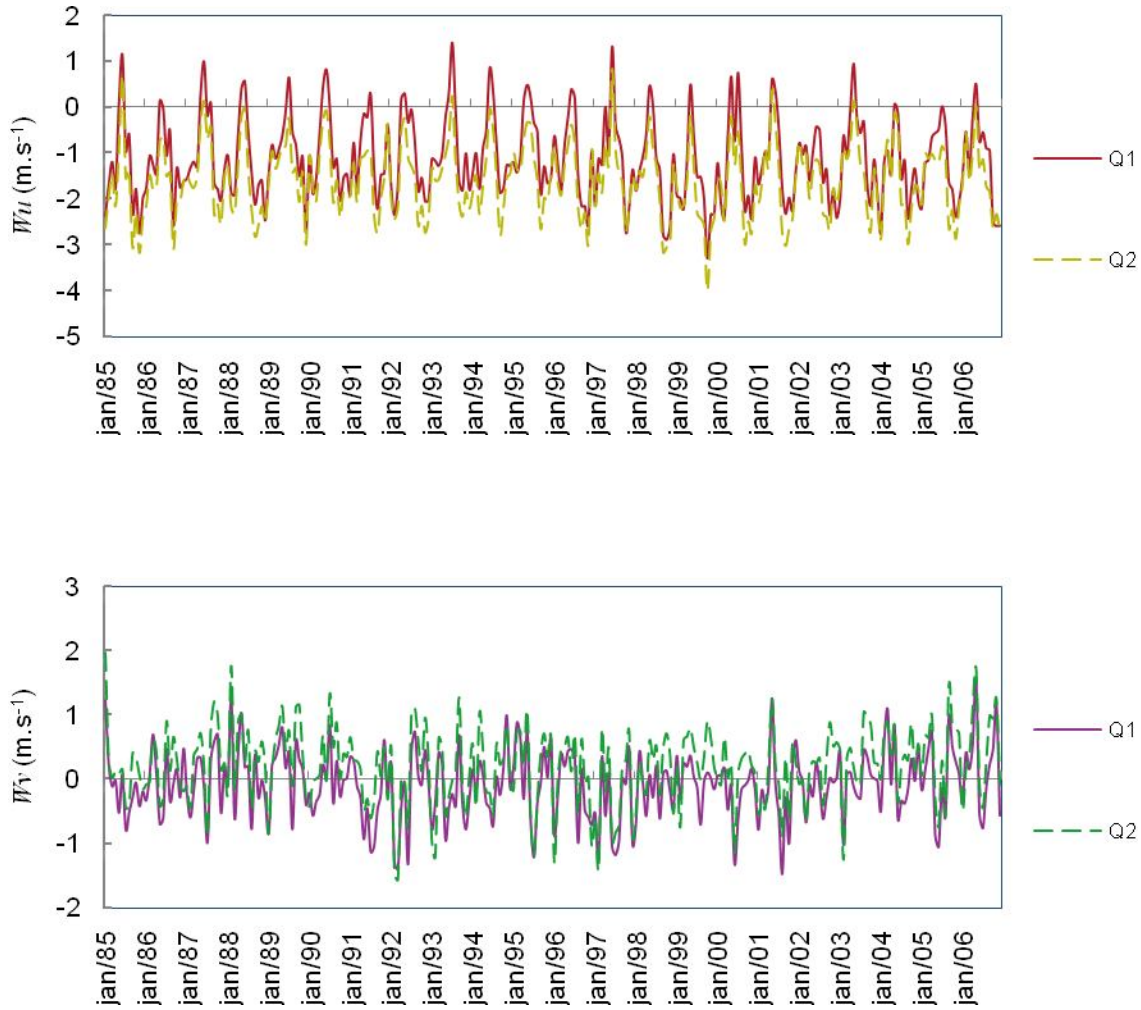


Figura 3.3: Componentes  $u$  ( $W_u$ ) e  $v$  ( $W_v$ ) da velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) medido a 10 metros de altura para a área de estudo Q1(a) e Q2 (b) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006.

Os dados relativos à tensão de cisalhamento do vento e ao transporte de Ekman correspondem a quantidades calculadas a partir dos dados originais usados aqui. Componentes zonal e meridional da tensão de cisalhamento do vento ( $\tau$ ) são determinadas pelas equações abaixo, propostas por Large e Pond (1981):

$$\tau_x = \rho_{ar} C_D |V| V_x \quad \text{ou} \quad \tau_x = \rho_{ar} C_D W_u \quad [\text{N/m}^2] \quad (3.1)$$

$$\tau_y = \rho_{ar} C_D |V| V_y \quad \text{ou} \quad \tau_y = \rho_{ar} C_D W_v \quad [\text{N/m}^2] \quad (3.2)$$

onde,  $\rho_{ar}$  = densidade do ar,  $C_D$  = coeficiente de arrasto,  $\tau_y$  é a componente da tensão de cisalhamento do vento longitudinal à costa e  $\tau_x$  é a componente da tensão de cisalhamento do vento transversal à costa,  $V$  é a velocidade do vento a 10 m da superfície (altura padrão), denominado “*vento equivalente neutro*”,  $W_u$  e  $W_v$  são componentes zonal e meridional da velocidade do vento, respectivamente. A densidade do ar ( $\rho_{ar}$ ) é  $1,22 \text{ kg.m}^{-3}$  e o coeficiente  $C_D$  é calculado por  $C_D = 0,00049 + 0,000065 \cdot V$  para  $V > 11 \text{ m/s}$  e  $C_D = 0,0012$  para  $0 < V < 11 \text{ m/s}$  (LARGE E POND, 1981).

Devido à orientação geográfica da Plataforma Continental do Sudeste (PCSE), autores como Sunyé (1999) e Jablonski (2003) sugerem que a componente do vento paralela à costa, tenha uma projeção relativa ao eixo de  $225^\circ$ . Essa projeção foi utilizada para a área Q2. Para a área Q1, essa transformação não foi necessária, devido à orientação de sua linha de costa e nesse caso de usou o valor original das componentes da velocidade do vento.

As equações 3.1 e 3.2 são chamadas “*bulk*” fórmulas (LKB), e assumem que na camada limite a densidade da coluna atmosférica é constante. Como a água do mar na superfície é mais quente, a camada de baixo da atmosfera fica menos densa e sucede uma convecção turbulenta, ou seja, a viscosidade diminui. Com a água do mar mais fria, aumenta-se a estratificação e a coluna de ar se estabiliza (viscosidade aumenta). O método LKB inclui estes efeitos e resulta em medidas de tensão de cisalhamento 5 % mais precisas.

O transporte de Ekman (TEkman) é obtido a partir da equação abaixo (Equação 3.3):

$$TEkman = \tau \text{ (tensão de cisalhamento)} / f \quad [\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}] \quad (3.3)$$

onde:  $f$  é o parâmetro de Coriolis,  $f = 2\omega \sin \Phi$ , sendo,  $\omega$  = velocidade angular de rotação da Terra;  $\Phi$  = latitude. Transporte de Ekman (Figura 3.4) é o movimento resultante médio de todas as camadas da espiral de Ekman e o transporte líquido se dá a  $90^\circ$  da direção do vento, sendo para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul.

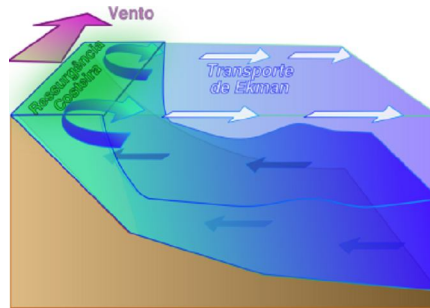


Figura 3.4: Representação esquemática do transporte de Ekman. No Hemisfério Norte (Sul) o transporte é à direita (esquerda) do vento.

Através do transporte de Ekman os processos de ressurgência podem acontecer na região costeira. A ressurgência é fundamental para os processos biológicos, pois o movimento ascendente da água traz nutrientes para regiões próximas à superfície e a produtividade biológica é aumentada. A atmosfera também é alterada na presença de águas mais frias, favorecendo a formação de nevoeiros e inibindo a convecção e a precipitação.

A Figura 3.5 representa as séries temporais do transporte de Ekman estimado para as regiões estudadas Q1 e Q2.

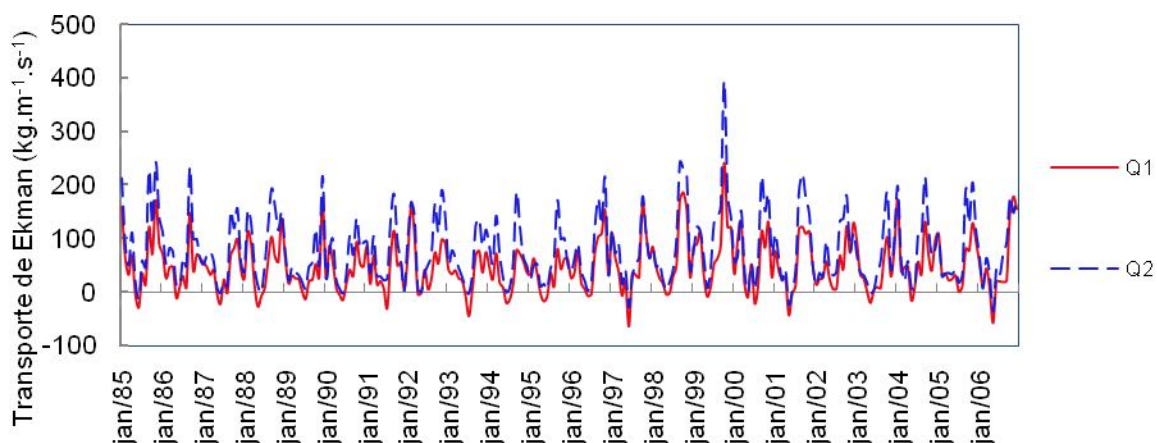


Figura 3.5: Transporte de Ekman ( $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) estimado para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2007, para as áreas de estudo Q1 e Q2.



### 3.1.2.3 Índices Climatológicos

Para correlacionar as possíveis variabilidades encontradas nas séries temporais de TSM e as componentes do vento da região de estudo com eventos atmosféricos e outras forçantes externas como o ENOS (El Niño/Oscilação Sul), por exemplo, foram utilizadas séries de tempo de alguns índices. Dentre os diversos índices climatológicos existentes serão utilizados, nesse estudo, o Índice Multivariado do ENOS (*Multivariate ENSO Index - MEI*), Índice Oscilação Antártica (AAO) e Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM no Atlântico (GITA).

#### 3.1.2.3.1 Índice Multivariado ENOS (MEI)

A série de tempo do índice MEI (NODC-NOAA, 2007) é bimensal, assim o valor de janeiro representa o valor médio centrado do período de dezembro e janeiro. Todos os valores são normalizados para cada intervalo bimensal, considerado de modo que os valores tenham média zero e desvio padrão 1. O MEI (Figura 3.6) por integrar mais informações (TSM, pressão ao nível do mar, vento na superfície do mar, temperatura do ar na superfície e cobertura de nuvens), reflete melhor a natureza do sistema acoplado oceano-atmosfera (WOLTER e TIMLIN, 1998). Os valores positivos do MEI estão associados ao fenômeno *El Niño*, enquanto os negativos estão associados ao fenômeno *La Niña*. Os dados utilizados desse índice é uma série temporal de janeiro de 1985 a novembro de 2006.

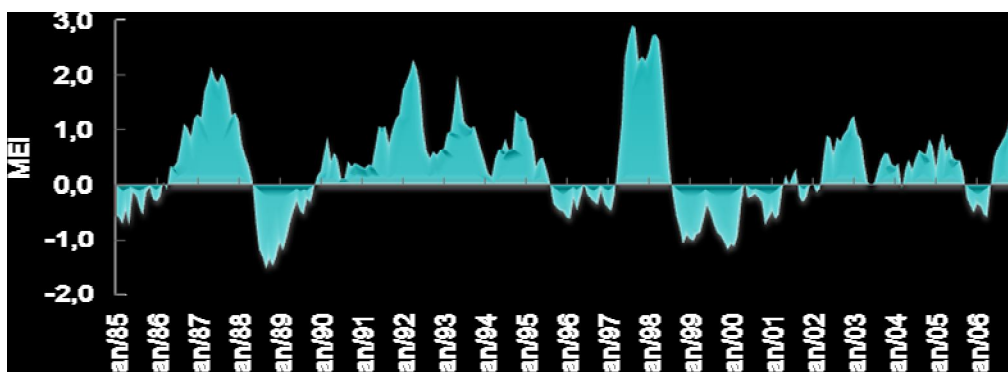


Figura 3.6: Índice Multivariado do ENSO (MEI) para o período de janeiro de 1985 a novembro de 2006. Valores positivos do MEI estão associados ao *El Niño*, enquanto os negativos estão associados a *La Niña*. Fonte de dados: NODC-NOAA (2007).



### 3.1.2.3.2 Oscilação Antártica (AAO)

O índice AAO (Figura 3.7) é uma variação climática do Hemisfério Sul semelhante à AO (Oscilação do Ártico) do Hemisfério Norte. Esse índice climatológico será utilizado para estudar possíveis teleconexões entre o continente antártico e a variabilidade climática marinha da PCSE e sua influência na dinâmica da pesca da sardinha-verdadeira. O AAO é medido pela variação da pressão atmosférica (em 850 hPa) entre médias e altas latitudes do Hemisfério Sul, centradas de 55°S à 60°S. Esse índice é definido pela equação abaixo:

$$AAO = P^{*40^{\circ}S} - P^{*65^{\circ}S} \quad (3.4)$$

onde,  $P^{*40^{\circ}S}$  é a pressão atmosférica a 40°S e  $P^{*65^{\circ}S}$  é a pressão atmosférica a 65°S (THOMPSON e WALLACE, 2000). Quando o índice do AAO é positivo, os ventos de oeste são mais importantes em latitudes médias. A Antártica tem também tendência a ser mais fria, sobretudo na sua região leste (Banco de Gelo Ross na Terra de Marie Byrd). As exceções estão nas regiões da Península da Antártica e do Mar Weddell, que são mais quentes, devido ao vórtice polar localizado acima dessa região, impedindo que o ar quente se misture ao ar glacial do pólo. As temperaturas são normalmente mais baixas nos três continentes do Hemisfério Sul ao longo da faixa dos 30°S, principalmente no sul do Brasil e na Argentina quando o índice AAO está positivo.

Quanto às precipitações, com AAO positivo, a Península da Antártica está mais úmida, até 30 % acima do normal, enquanto que as regiões oeste (Banco de Ross) e leste (Geleira Lambert – Antártica Oriental) da Antártica estão mais secas. A fase positiva da AAO corresponde, ainda, a anomalias negativas de precipitação na faixa de latitude de 40°S a 50°S (precipitações mais fracas sobre o leste da Argentina) e das precipitações mais intensas na faixa de 50°S a 70°S. Ao longo da latitude de 30°S, as precipitações têm tendência a serem mais intensas, mas apenas sobre várias regiões separadas, não ao longo dessa faixa latitudinal como um todo.

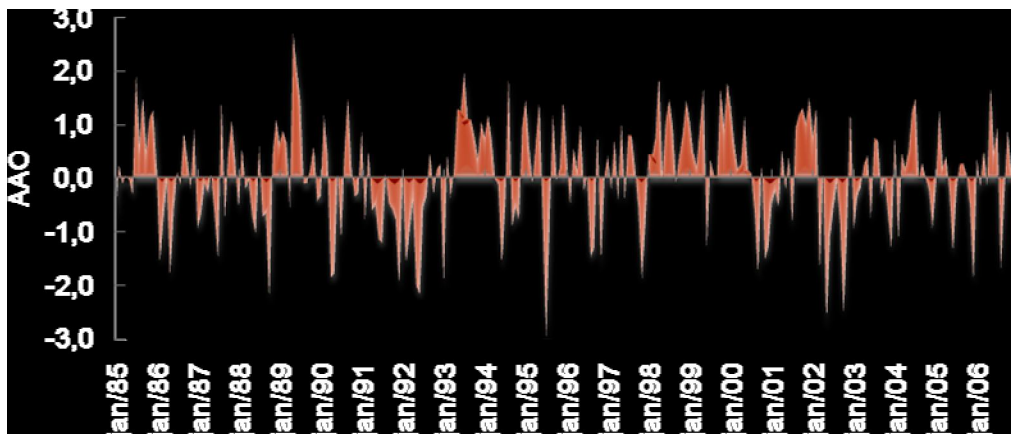


Figura 3.7: Índice de Oscilação Antártica (AAO) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006. Fonte de dados: ESRL/PSD-CDC/NOAA.

O índice AAO possui uma grande variabilidade durante o inverno, período em que ocorre o recrutamento da sardinha-verdadeira para o estoque adulto. A série (ESRL/PSD, 2007) é normalizada pelo desvio padrão do índice mensal (período base de 1979 a 2000). Neste trabalho, utilizamos o índice mensal AAO para um período compreendido entre janeiro de 1985 e dezembro de 2006.

### 3.1.2.3.3 Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico (GITA)

Este índice de TSM serve para monitorar o posicionamento mais ao norte ou mais ao sul da Zona de Confluência Inter-tropical (ZCIT) e, conseqüentemente, verificar alguma influência na variabilidade climática nas áreas consideradas. Muitos autores têm estudado o dipolo do Atlântico Tropical (Figura 3.8). Dentre eles, podem ser destacados os trabalhos de Moura e Shukla (1981), Servain (1991), Nobre e Shukla (1996), Souza e Nobre (1998), Souza *et al.* (2000), Pezzi e Cavalcanti (2001), Souza *et al.* (2005).

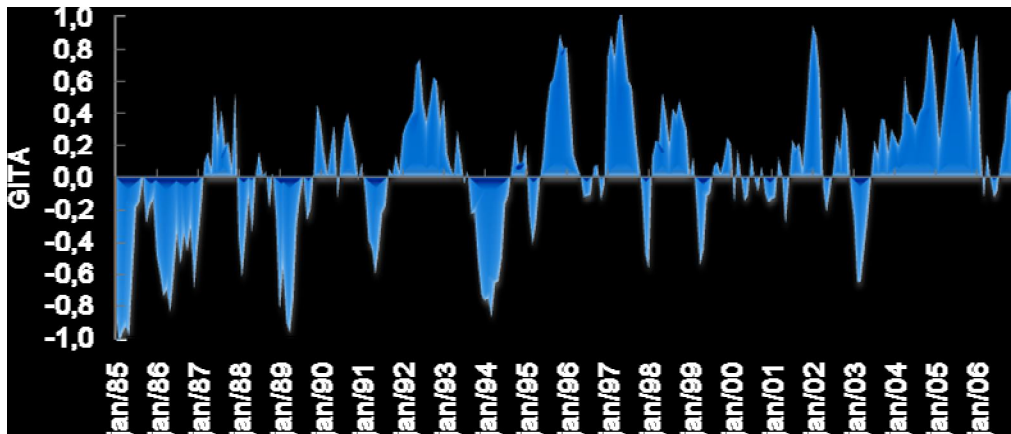


Figura 3.8: Índice do Gradiente Inter-Hemisférico da TSM no Oceano Atlântico (GITA) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006.

O índice GITA baseia-se na diferença entre as anomalias da TSM do Atlântico Norte ( $2,5^{\circ}\text{N}$ - $17,5^{\circ}\text{N}$  /  $50^{\circ}\text{W}$ - $20^{\circ}\text{W}$ ) (Figura 3.9a) e anomalias da TSM do Atlântico Sul ( $17,5^{\circ}\text{S}$ - $2,5^{\circ}\text{S}$  /  $35^{\circ}\text{W}$ - $5^{\circ}\text{W}$ ) (Figura 3.9b). O Gradiente quente (frio), diz respeito a anomalias positivas (negativas) no Atlântico Tropical Norte e negativas (positivas) no Atlântico Tropical Sul (SOUZA *et al.*, 2000).

Enquanto que os principais episódios do ENOS apresentam sua fase madura no período de novembro a janeiro (HARRISON e LARKIN, 1998), o modo dominante do Gradiente Inter-Hemisférico se dá durante o outono (ANDREOLI e KAYANO, 2003). Desta forma, Souza et al. (2005) sugerem para compará-los alguns critérios a serem adotados, tanto na seleção das fases do ENOS e como nos modos do gradiente inter-hemisférico de TSM: i) anos com o índice ENOS (MEI, Niño3 e Niño3.4)  $\geq 0,5^{\circ}\text{C}$  ( $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$ ) ocorrendo consecutivamente em pelo menos 70 % no período de novembro a fevereiro são considerados como anos El Niño (La Niña) no Pacífico Tropical; ii) anos com o índice Gradiente  $\geq 0,2^{\circ}\text{C}$  ( $\leq -0,2^{\circ}\text{C}$ ) consecutivamente ocorrendo pelo menos 75 % no período de março a maio são considerados como anos com gradiente da TSM em direção ao norte (para o sul) no Atlântico Intertropical.

Tabela 3.1: Anos com eventos ENOS e Gradiente Inter-Hemisférico de TSM no Atlântico (GITA) para o período de 1985 a 2006. (Fonte: adaptado de Souza *et al.*, 2005)

<b>Cenário</b>	<b>Condições Climáticas simultâneas nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical</b>	<b>Anos de ocorrência (ano + 1)</b>
DEFAV desfavorável	El Niño e Gradiente de TSM do Atlântico em direção ao norte	1987, 1992, 1998, 2005
FAV favorável	La Niña e Gradiente de TSM do Atlântico em direção ao sul	1985, 1989, 1999

Diversos estudos têm mostrado fortes evidências dos efeitos combinados do El Niño (La Niña) e dos modos para o norte (para o sul) do Gradiente Inter-hemisférico de TSM favorecendo um clima mais seco (mais chuvoso) das condições normais sobre a Amazônia Ocidental e o Nordeste Brasileiro. Neste contexto, dois cenários climáticos (Tabela 3.3) de grande escala foram analisados por Souza *et al.* (2005): a) primeiro denominado desfavorável (DEFAV), em que são observados simultaneamente eventos de El Niño no Pacífico e um gradiente anômalo da TSM em direção ao norte; b) outro favorável (FAV) com eventos La Niña e gradiente em direção ao sul. Conseqüentemente, formam um robusto padrão climático de grande escala, que resulta num deslocamento anômalo para o norte (para o sul) da ZCIT do Atlântico que contribui por sua vez diretamente à deficiente (abundante) estação das chuvas sobre a Amazônia Ocidental e o Nordeste Brasileiro. Nos cenários DEFAV as áreas com deficiência pluviométrica significativa são encontradas perto à costa atlântica, enquanto que para cenários FAV, as áreas com excesso de precipitação estão situadas no interior da Amazônia Ocidental e do Nordeste Brasileiro. Nesse estudo, será investigada a influência Gradiente nos processos meteo-oceanográficos da PCSE e conseqüente resposta na variabilidade da pesca da sardinha-verdadeira.

Recentemente, a conexão entre o Pacífico e o Atlântico recebeu um interesse particular. Saravanan e Chang (2000), dentre outros autores, sugerem que a teleconexão atmosférica do ENOS possui um importante papel na variabilidade climática do Atlântico. As anomalias de TSM no ENOS, através da circulação atmosférica, induzem padrões anômalos de TSM com o mesmo sinal sobre o Atlântico Norte e com sinal contrário no Atlântico Sul (HASTENRATH *et al.*, 1987). Tal conexão atmosférica é estabelecida

basicamente através das células de Walker, que alteram dinamicamente os ventos de superfície e os padrões de TSM (PEZZI e CAVALCANTI, 2001).

Pezzi e Cavalcanti (2001), através de simulações do modelo climático Modelo Geral de Circulação Atmosférica do CEPTEC/INPE, pesquisaram a possível influência dos eventos ENOS e as fases do Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico (GITA, Figura 3.8). Os autores sugerem que o dipolo do Atlântico durante condições de El Niño influenciam a intensidade da anomalia da precipitação, positivamente sobre o Nordeste e Amazônia brasileira e negativamente sobre a região centro-sul da América do Sul. Isso é válido para a fase quente do GITA (Atlântico Norte mais quente que o Atlântico Sul).

### 3.1.3 Dados de Captura e Desembarque

No Estado de São Paulo, a Unidade Laboratorial de Referência em Controle Estatístico de Produção Pesqueira Marinha<sup>(1)</sup> coleta, ordena, informa e executa os dados de produção pesqueira comercial desse estado, para diferentes artes de pesca e espécies alvo. No Estado de Santa Catarina essa função está a cargo do Grupo de Estudos Pesqueiros (GEP) da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) em parceria com a Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca (SEAP). Em ambos Estados, esses dados de produção pesqueira desembarcada são obtidos por meio de entrevistas e leitura de diários/mapas de bordo das embarcações (ÁVILA DA SILVA *et al.*, 2005; ÁVILA DA SILVA *et al.*, 2004).

Os dados utilizados nesse trabalho foram processados e disponibilizados pelo Instituto de Pesca na forma de produção pesqueira desembarcada da sardinha verdadeira, registrados durante o período de março 1990 a dezembro de 2007. Tais informações foram criteriosamente revistas para excluir dados duplicados ou pontos de pesca inexistentes.

---

<sup>(1)</sup> pertencente ao Serviço de Controle da Produção Pesqueira Marinha do Estado de São Paulo pertencente ao Instituto de Pesca (IP) da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) que está ligada à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA).

Este conjunto de dados contém 16.263 registros de capturas georeferenciadas (Figura 3.9 3.11b) de sardinha-verdadeira, que informam a captura em toneladas, localização dos pontos de pesca, número de barcos, dias de mar, número de lances, tempo de procura de cardumes, tempo de operação.

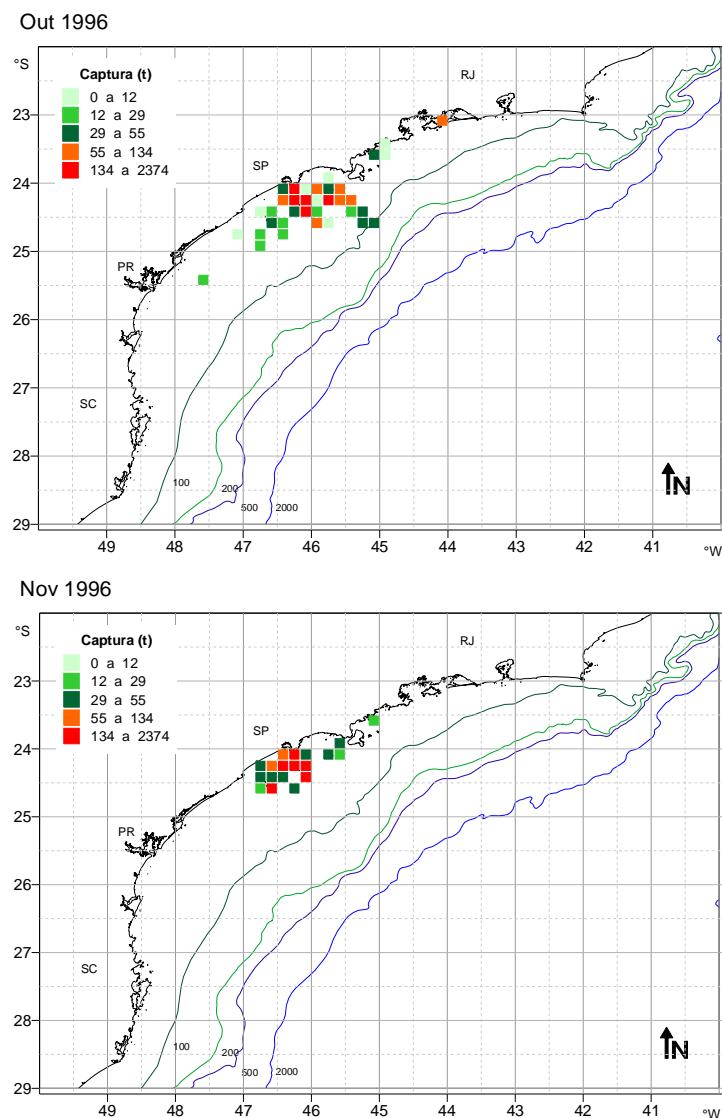


Figura 3.9: Exemplos da distribuição média espacial da captura da frota industrial de cerco do Estado de São Paulo (áreas Q2 e QM2), identificada pelo total de capturas registradas mensal por quadrante (10' x 10' lat / long) para os meses de outubro e novembro de 1996. (Fonte dos dados: Serviço de Controle da Produção Pesqueira Marinha do Estado de São Paulo / Instituto de Pesca)

A partir de outubro de 2000, por meio de acordo de cooperação técnico-científico firmado entre o Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento e a UNIVALI, através de seu Centro de Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar (CTTMar), que passou a desenvolver e operacionalizar oficialmente o SIESPE - Sistema Integrado de Estatística Pesqueira, que engloba a captação, processamento, armazenamento e disponibilização dos dados sobre a pesca industrial de Santa Catarina. Tais informações são coletadas através de fichas de produção, entrevistas, mapas de bordo e pelo Programa de Observadores de Bordo em Embarcações (PROA). Esses dados são disponibilizados periodicamente ao público através dos Boletins Estatísticos Anuais, Boletins Especiais e consultas online ([http://siaiaca04.univali.br/index\\_online.php](http://siaiaca04.univali.br/index_online.php)). Em 2003, esse acordo passou a ser com a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP/PR). O Grupo de Estudos Pesqueiros (GEP/UNIVALI-SEAP) processou e disponibilizou dados georeferenciados (Figura 3.10 e 3.11a) da produção pesqueira desembarcada da arte de pesca do cerco, registrados no período entre janeiro de 2000 e dezembro de 2006.

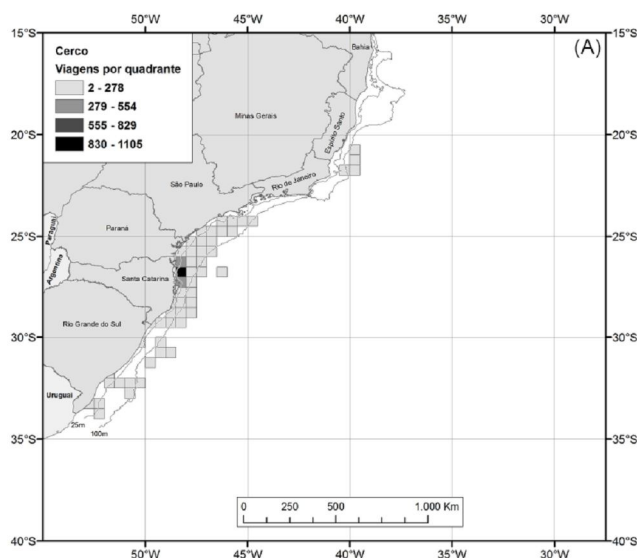


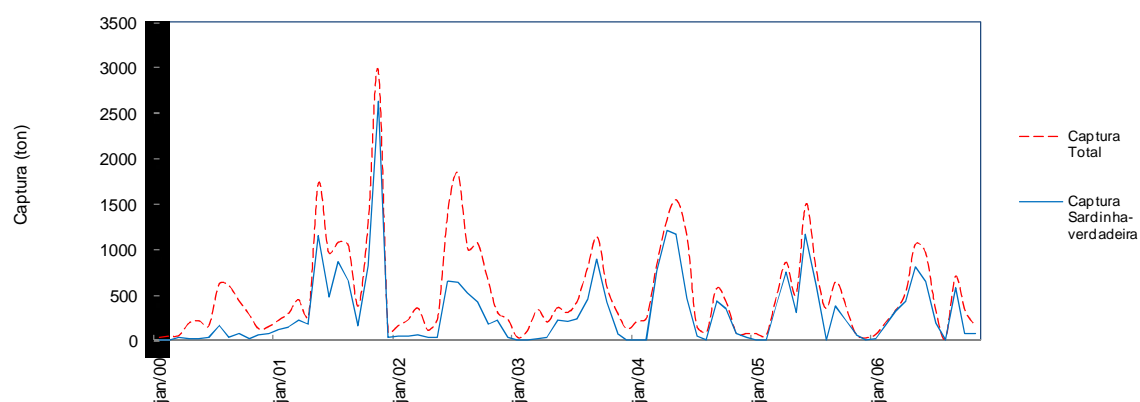
Figura 3.10: Exemplo de distribuição espacial média da frota industrial de cerco do Estado de Santa Catarina (áreas Q1 e QM1) para o ano de 2006, identificando o número de viagens registradas por quadrante (30' x 30' lat / long). Fonte: Adaptado de UNIVALI/CTTMar (2007).

Tais informações foram criteriosamente revistas buscando uma maior consistência dos dados, excluindo dados duplicados ou pontos de pesca inexistentes. Este conjunto de dados contém 3.621 registros de captura total em toneladas por unidade e captura por unidade e espécie pescada, identificação da unidade pesqueira, locação dos pontos de

pesca, número de barcos, data de saída e chegada, local de saída e chegada, número de lances, tempo de operação.

Esses dados georeferenciados possibilitaram verificar a distribuição dos cardumes. Posteriormente, os dados foram agrupados para determinação de valores mensais de CPUE e para as áreas Q1, QM1, Q2 e QM2.

a) Q1 e QM1



b) Q2 e QM2

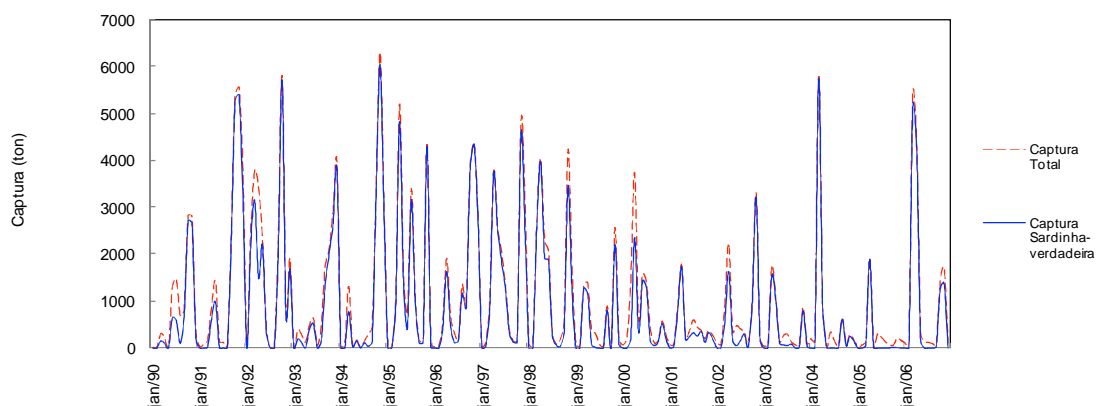


Figura 3.11: Série temporal de captura total do cerco e captura da sardinha-verdadeira, em toneladas para as áreas de estudos (a) Q1 e QM1 no período de janeiro de 2000 à dezembro de 2006 e para (b) Q2 e QM2 no período de janeiro de 1990 à dezembro de 2007.



CPUE (Captura por Unidade de Esforço) definido como sendo a quantidade de recurso pesqueiro capturado por uma unidade de esforço empregada à pesca constantemente é utilizada como índice para a abundância dos estoques pesqueiros.

Após correlacionar dados de captura ( $\log_{10}$ ) com os diversos esforços considerados (Tabela 3.4), verificou-se que a maior correlação ( $r = 0,78$ , Figura 3.12) obtida foi para captura por número de barcos somado ao número de lances por mês.

Tabela 3.2: Correlação ( $r$ ) entre dados de captura, em toneladas/mês, e transformados em  $\log_{10}$  e as diversas unidades de esforço (dias de pesca, número de barcos, número de lances e suas combinações) consideradas na área Q2.

CPUE	CORRELAÇÃO	=> R
	CAPTURA(ton)	LOG CAPTURA
C/1		0,75
C/2		0,57
C/4		0,57
<b>C/(1+2)</b>	<b>0,78</b>	0,64
C/(1+5)	0,59	0,58
C/(2+4)	0,66	0,54
C/(1+2+4)		0,62
C/(1+2+4+5)	0,70	0,59
C/(1+2+3+4+5)	0,69	0,59
C/1/2	0,32	-0,19
C/1/4	0,32	-0,02
C/1/5	0,41	-0,01
C/2/4		0,32
C/2/5		0,34
C/1/2/4	0,10	0,34
C/1/2/4/5		0,31
C/1/2/3/4/5	0,06	
C = CAPTURA		
1 = NUMERO DE BARCOS		
2 = NUMERO DE LANCES		
3 = NUMERO DE DESEMBARQUES		
4 = DIAS DE PESCA		
5 = HORAS DE OPERAÇÃO		

Desta forma, utilizaremos captura em toneladas / (número de barcos + número de lances) para estimar a CPUE mensal para cada área de estudo (Q1 e Q2), considerando uma unificação ao emprego desse parâmetro nesse estudo. Os dados de tempo de procura de cardumes e de tempo de operação não foram considerados, pois esses valores dependem basicamente da habilidade dos pescadores e dos equipamentos empregados no cerco dos cardumes, sendo assim muito subjetivos.

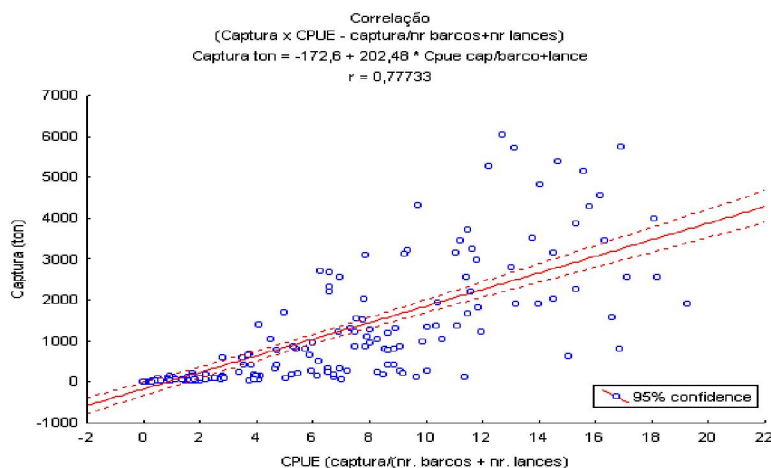


Figura 3.12: Correlação entre dados de captura da sardinha-verdadeira (*S. brasiliensis*) em ton/mês e valores de CPUE em ton/(número de barcos + número de lances). Correlação com  $r$  de 0,78 para um intervalo de confiança de 95 %.

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Séries Temporais

Duas áreas de estudo foram definidas (Figura 1.1 e 1.2). Essas áreas, sobre a Plataforma Continental do Sudeste (PCSE), estão localizadas entre as isóbatas de 10 e 200 m de profundidade, compreendendo a área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). Para a escolha do tamanho das áreas foi considerada uma divisão que melhor representasse a região de ocorrência da sardinha. Para cada área e mês considerados, foram extraídas médias espaciais formando, dessa forma, séries temporais das variáveis ambientais na resolução original dos dados, ou seja, mensal.

As séries de TSM, ventos e índices climatológicos são formadas por 21 anos de médias mensais (252 valores por variável), compreendidas entre janeiro de 1985 e dezembro de 2006. A série temporal dos dados de pesca para o Estado de São Paulo compreende o período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006. Os dados de pesca disponíveis para o Estado Santa Catarina foram de janeiro de 2000 a dezembro de 2006. Essas séries foram posteriormente normalizadas e adimensionalizadas. Buscando remover as altas frequências do sinal e eliminar o caráter sazonal dos dados, foi empregado um filtro tipo média móvel de 6 pontos (CHATFIELD, 1996). Removido esse efeito, podemos analisar as variáveis a cada mês, comparando um mês com o outro (HARTMANN e MICHELSEN, 1989).

Técnicas de análise de séries temporais foram empregadas para melhor estudar as regiões em questão, sua variabilidade ambiental e a relação com a pesca da sardinha-verdadeira. As metodologias descritas nesta seção são apresentadas de maneira sucinta, conforme seguem:

### 3.2.2 Anomalia Normalizada

A fim de produzir uma série com média e variância constante, é necessário transformar as anomalias em anomalias normalizadas através da seguinte equação:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s_x} = \frac{x'}{s_x} \quad (3.5)$$

onde  $z$  é a anomalia padronizada, calculada simplesmente pela subtração da média da amostra e dividida pelo respectivo desvio padrão  $S_x$  (WILKS, 1996). Por exemplo, não apenas as TSM tendem a ser mais frias durante o inverno, mas sua variabilidade tende a ser mais alta em regiões de latitudes médias. Uma aproximação possível para transformar séries de TSM mensais em uma série (aproximadamente) estacionária foi calcular as 12 médias mensais e os 12 desvios-padrão e então aplicar a Equação 3.5 usando diferentes médias e desvios-padrão para o mês do calendário apropriado.

### 3.2.3 - Transformada Rápida de Fourier (TRF)

A análise no domínio da frequência de séries temporais revela informações que às vezes não são detectadas se analisadas somente no domínio temporal, e também identifica as frequências dominantes das séries. Nesse estudo, os espectros foram gerados ao nível de significância de 5 % (equivalente a um intervalo de confiança de 95 %). Descrições detalhadas da TRF podem ser encontradas em Morettin (1999) e Wilks (1996). A TRF é utilizada na decomposição da série em funções exponenciais periódicas complexas de diferentes frequências, possibilitando detectar os picos de energia (amplitude) associados às variações periódicas presente nas séries. Essa análise foi realizada no *software* STATISTICA7.0®.

Nesta pesquisa utilizou-se o algoritmo da TRF de *Cooley-Tukey*, o qual divide recursivamente uma TDF de tamanho  $P$ , onde  $P$  é o número de pontos da série, em

outras TDF de tamanhos menores  $P_1$  e  $P_2$ . Morettin (1999) considera que a grande vantagem de utilizar a TRF é a redução do custo computacional. A TDF ( $X$ ) que implementa a transformada é dada por (LITTLE e SHURE, 1992):

$$X(k) = \sum_{n=0}^{P-1} x_n e^{-\frac{2\pi}{P}nk} \quad (3.6)$$

onde,  $P$  é o número total de observações da série,  $k$  representa a posição da série de tempo e  $x$  é a observação original da série temporal.

Empregou-se a janela *Hamming* de comprimento variável para a suavização do espectro devido ao espectro de potência resultante por vezes apresentar um sinal muito forte nas altas frequências. A escolha da janela com comprimento variável permite ter tamanhos menores para baixas frequências e aumentar progressivamente o tamanho da janela para frequências mais altas. Um segundo filtro foi empregado, denominado filtro *Hanning*, devido ao fato de séries finitas, quando estudadas por TRF, não resultarem um número inteiro de ciclos no interior da janela a ser submetido para análise. Assim, pode ocorrer um erro denominado de “fuga” (ou *leakage*, em inglês), de modo que podem surgir frequências virtuais em torno das frequências dominantes do sinal (WILKS, 1996).

Os coeficientes da janela *Hamming* e *Hanning* são determinados como a seguir:

$$Hamming(k) = 0,54 - 0,46 \cos \left[ 2\pi \left( \frac{k}{P-1} \right) \right], \quad k=1 \dots P \quad (3.7)$$

$$Hanning(k) = 0,5 \left\{ 1 - \cos \left[ 2\pi \left( \frac{k}{P-1} \right) \right] \right\}, \quad k=1 \dots P \quad (3.8)$$

onde,  $P$  é o número total de observações da série,  $k$  representa a posição da série de tempo.

O intervalo de confiança superior e inferior é estimado por:

$$I.C.(inferior) = \frac{gl}{[c(df, a/2)]} \quad (3.9)$$

$$I.C.(superior) = \frac{gl}{[c(df, 1 - a/2)]} \quad (3.10)$$

com  $a = 1 - p/100$ , onde  $p$  é o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ),  $c$  é distribuição  $\chi^2$ ,  $gl$  é o número de graus de liberdade.

O procedimento de “*tapering*” ou afunilamento é recomendado para evitar uma descontinuidade no final da série de dados que poderia representar a adição de um cosseno que na realidade não existe criando decaimento suave nas extremidades das séries. Em geral, utiliza-se o *tapering* (afunilamento) em 5 % (usado nessa pesquisa) ou 10 % em cada extremidade (BLOOMFIELD, 1976; CHATFIELD, 1996).

As características de uma série temporal que foram obtidas por transformadas de Fourier no domínio de frequência são comumente examinadas graficamente, usando um periodograma, linha de espectro de Fourier (*Fourier line spectrum*), espectro de potência (*power spectrum*) ou simplesmente espectro de uma série de dados. Na sua forma mais simples, este gráfico se consiste das amplitudes ao quadrado  $(C_k)^2$ , em função da frequência  $\omega_k$ . O espectro considera a proporção da variação nos dados originais que é referente às oscilações para as frequências harmônicas, mas não fornece informação sobre quando estas oscilações são expressas na série.

O eixo vertical de um espectro é normal ser plotado na escala logarítmica sendo útil, principalmente, se harmônicos de poucas frequências dominarem as variações nas séries temporais. Com o gráfico na forma linear, isso resultaria no restante dos componentes espectrais praticamente invisíveis. Um eixo vertical logarítmico também regulariza a representação de limites para as estimativas espectrais. O eixo horizontal de um espectro consiste de  $n/2$  frequências  $\omega_k$  se  $n$  é par e  $(n-1)/2$  frequências se  $n$  é ímpar. O período especifica o período de tempo requerido para completar um ciclo de frequência  $\omega_k$  que associado com as estimativas do periodograma, pode ajudar a visualizar as escalas de tempo onde as variações importantes dos dados estão ocorrendo.

### 3.2.4 Transformada de Ondeletas (TO)

Desenvolvida na década de 1980 pelos pesquisadores Morlet, Grossmann, Meyer e Daubechies, a metodologia de Transformada de Ondelela (TO), apresenta vantagens em relação a outras metodologias utilizadas em oceanografia para decomposição do sinal, possibilitando novas perspectivas e discernimentos que não eram possíveis por outras ferramentas tradicionais (TORRENCE e CAMPO, 1998). Foi formulada para o estudo de sinais não-estacionários, sendo útil para detectar esses sinais ou flutuações de caráter episódico. A TO possibilita a reconstrução global e também de partes do sinal. O termo ondeleta (“*wavelet*”, em inglês) é compreendido como um conjunto de funções com a forma de pequenas ondas geradas por uma função chamada de “ondeleta-mãe”, “ondeleta básica” ou “ondeleta analisadora”. As ondeletas são adequadas para a decomposição de outras funções, comparáveis às funções seno e cosseno que servem de base para a TRF (POLIKAR, 2001). Ondeletas são consideradas versáteis ferramentas de análise harmônica. A análise da TO contínua foi empregada de forma a complementar à TRF, com a vantagem de identificar a posição no tempo dos picos de potência da série. Podem-se obter informações tanto da amplitude de qualquer sinal “periódico” dentro da série e como esta amplitude varia com o tempo. A TO decompõe o sinal em algumas funções elementares derivadas do processo de dilatação e translação de uma ondeleta-mãe (LAU e WENG, 1995).

A técnica de TO também tem sido muito utilizada em pesquisas recentes nas áreas de oceanografia e meteorologia (LEÃO, 2008; KAMPEL *et al.*, 2008; MÉNARD, 2007; SOPPA, 2007; LÓPEZ *et al.*, 2006; TEIXEIRA, 2006).

Descrições mais detalhadas da TRF e da TO podem ser encontradas em Soppa (2007), Morettin (1999) e Torrence e Campo (1998). Torrence e Campo (1998) criaram o Guia Prático para Análise de Ondeletas (“*A Practical Guide to Wavelet Analysis*”) que aborda diversas questões sobre ondeletas. Autores como Andreoli e Kayano (2004), indicam que ondeletas contínuas ( $W_{l,t'}$ ) são apropriadas para analisar os modos dominantes de variabilidade nas séries temporais tanto no tempo e no espaço. A função da TO contínua é definida como (LAU e WENG, 1995):

$$W_{l,t'}(f) = \langle f, \psi_{l,t'}^* \rangle = \int f(t) \psi_{l,t'}^*(t) dt \quad (3.11)$$

onde,  $l$  é o parâmetro de escala,  $t'$  é o parâmetro de translação e  $\Psi_{l,t'}^*$  é o complexo conjugado das ondeletas  $\Psi_{l,t'}$  dados a seguir:

$$\psi_{l,t'}(t) = \frac{1}{\sqrt{l}} \psi\left(\frac{t-t'}{l}\right) \quad (3.12)$$

onde  $\psi$  é a ondeleta-mãe.

O parâmetro  $l$  de escala permite dilatar ou comprimir um sinal. Variando o parâmetro  $l$  de escala e transladando ao longo do tempo, construímos uma representação gráfica que mostra a amplitude (ou potência) de qualquer sinal dentro da série e onde esta se localiza no tempo (SOPPA, 2007). Mesmo sendo arbitrária a escolha da ondeleta-mãe, esta deve possuir características semelhantes àsquelas do sinal analisado (TORRENCE E CAMPO, 1998).

Neste trabalho, utilizamos a ondeleta contínua DOG (*Derivative of Gaussian*), apesar da ondeleta-mãe *Morlet* ser a mais utilizada em trabalhos com séries temporais de dados oceanográficos e atmosféricos, pois a última mostrou-se adequada para determinar as oscilações presentes nas séries desse estudo. A ondeleta DOG consiste na derivada de sexta ordem da função de densidade de probabilidade Gaussiana. A função é definida como (TORRENCE e CAMPO, 1998):

$$\frac{(-1)^{m+1}}{\sqrt{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}} \frac{d^m}{d\eta^m} \left( e^{-\frac{\eta^2}{2}} \right) \quad (3.13)$$

onde  $m$  é a ordem da derivada e  $\eta$  é um parâmetro de tempo adimensional. A ondeleta DOG assemelha-se àquela conhecida como Chapéu Mexicano, também derivada de uma função de densidade probabilidade Gaussiana. Torrence e Campo (1998) relatam que a DOG, por não apresentar parte complexa, permite capturar oscilações positivas e negativas do espectro de potência da ondeleta, o que resulta em sinais mais detalhados de saída.

A utilização da potência para representar o resultado da TO tem a vantagem de enfatizar os picos mais relevantes e as descontinuidades, além de minimizar os sinais de baixa amplitude e o ruído de fundo. As transformadas de ondeletas foram rodadas no software IDL®.

### 3.2.5 Análise de Correlação Cruzada

Foi realizado o teste estatístico de correlação cruzada entre as séries de ATSM e anomalias de vento contra as séries dos índices MEI e AAO visando detectar uma possível influência remota dos fenômenos climatológicos globais na variabilidade dos parâmetros ambientais das regiões desse estudo. Para tal, os índices foram fixados e as séries temporais das variáveis atrasadas em até 12 meses.

Essa análise foi realizada no *software* STATISTICA7.0®. O coeficiente de correlação cruzada ( $r_{xy}$ ) é obtido a partir da equação abaixo:

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.14)$$

onde,  $k$  é a defasagem de tempo (*lag*),  $x$  e  $y$  são as duas séries de tempo,  $c_{xy}$  é o coeficiente de covariância cruzada,  $\sigma$  é o desvio padrão das séries temporais.

O coeficiente de covariância cruzada ( $c_{xy}$ ) é estimado por:

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{P} \cdot \sum [(x_t - \bar{x}) \cdot (y_{t+m} - \bar{y})] \quad (3.15)$$

para,  $t = 1$  a  $P-1$ ,  $m = 0$  para valores de  $k$  positivos ou

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{P} \cdot \sum [(y_t - \bar{y}) \cdot (x_{t+m} - \bar{x})] \quad (3.16)$$

para,  $t = 1$  a  $P+1$ ;  $m = -1$  para valores de  $k$  negativos,



onde,  $k$  é a defasagem de tempo (lag),  $P$  é o número total de observações da série,  $x$  e  $y$  representam as séries de tempo,  $x_t$  o valor da variável  $x$  no tempo  $t$ ,  $y_t$  o valor da variável  $y$  no tempo  $t$ ,  $\bar{x}$  a média da série de tempo  $x$ ,  $\bar{y}$  a média da série de tempo  $y$ .

Quanto ao erro padrão, assume-se independência entre as séries de tempo e uma das séries sendo entendida como um ruído branco. Assim, o erro padrão ( $Ep$ ) do coeficiente  $r_{xy}$  é aproximadamente igual a:

$$Ep(r_{xy}(k)) = \sqrt{\frac{1}{(P-k)}} \quad (3.17)$$

onde  $k$  é a defasagem de tempo e  $P$  é o número total de observações das séries.

### 3.2.6 – Análise Espectro Cruzado de Ondeletas (ECO) e Ondeleta de Covariância

Diferente da metodologia de correlação cruzada que usa a transformada de Fourier (TF) em seus cálculos e considera os sinais como estacionários (EMERY E THOMSOM, 2006), podendo com isso subestimar os valores de correlação, a ECO busca retirar essas falhas e indicar em quais períodos e qual local da série os sinais possuem alta energia em comum (GRINSTED *et al.*, 2004).

A transformada cruzada de ondeleta (TXO) de duas séries de tempo  $x_n$  e  $y_n$  é definida como  $W^{XY} = W^X W^{Y*}$ , onde  $*$  indica a conjugada complexa. O argumento complexo  $\arg(W^{XY})$  pode ser interpretado como a fase relativa local entre  $x_n$  e  $y_n$  no espaço tempo-frequência. A distribuição teórica da ondeleta cruzada de duas séries com um background espectral  $P_k^X$  e  $P_k^Y$  é mostrado em Torrence e Campo (1998) da seguinte forma:

$$D\left(\frac{|W_n^X(s) W_n^{Y*}(s)|}{\sigma_X \sigma_Y} < p\right) = \frac{Z_v(p)}{v} \sqrt{P_k^X P_k^Y} \quad (3.18)$$

Onde  $Z_v(p)$  é o nível de confiança associado com a probabilidade  $p$  para uma função de probabilidade definida pela raiz quadrada do produto das duas distribuições  $X^2$  (GRINSTED *et al.*, 2004).

A TXO foi estimada entre os dados do índice MEI versus ATSM em Q1 e Q2, anomalia da componente meridional do vento (AV) da área Q1, anomalia da componente zonal (AU) e meridional (AV) e anomalia do transporte de Ekman (AEKMAN) na área Q2; índice GITA versus ATSM em Q2. Também foram feitas as TXO com o índice MEI versus GITA; MEI versus AAO; GITA versus CPUE em Q1; MEI, GITA e AAO versus CPUE em Q2. E as CPUE em Q1 e em Q2 versus as variáveis ambientais estudadas.

A ondeleta cruzada revela áreas com alto poder (potência) comum e quão coerente a transformada de ondeleta cruzada é no espaço tempo-frequência. A coerência da ondeleta (CO) de duas séries temporais é definida como:

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1} W_n^{XY}(s))|^2}{S(s^{-1} |W_n^X(s)|^2) \cdot S(s^{-1} |W_n^Y(s)|^2)} \quad (3.19)$$

onde,  $S$  é um operador de alisamento no tempo e na frequência e depende do tipo da ondeleta-mãe usada. A definição da CO lembra um coeficiente de correlação tradicional e é interessante considerá-la como um coeficiente de correlação localizado no espaço tempo-frequência. O nível de significância estatística da CO é estimado pelo método de Monte Carlo.

Os espectros de coerência foram estimados para as mesmas séries temporais aplicadas na análise do espectro de ondeleta cruzada (ECO). Os resultados da covariância são dentro do intervalo entre 0 e 1, fornecendo uma medida de covariância entre duas séries temporais em função da frequência e do tempo, independentemente da diferença de fase entre as mesmas. Essa análise busca conhecer a correlação local das oscilações significativas observadas.

### 3.2.7 - Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Redundância (RDA)

Métodos de análise multivariada são muito utilizados para interpretar dados ecológicos. Alguns desses métodos incluem a determinação de autovetores e autovalores baseados na preservação da distância Euclidiana local, como Análise de Componentes Principais (ACP, ou PCA em inglês), que também é chamada de técnica de Funções Ortogonais Empíricas (FOE, ou EOF em inglês) e Análise de Redundância (RDA). Esses métodos

partem da idéia que um fenômeno ecológico não é explicado apenas por um processo biótico ou abiótico que varia no tempo e no espaço, e sim por um conjunto de processos que interagem de forma diferenciada (BOCARD *et al.*, 1992). Os métodos utilizam matriz de similaridade de variáveis ambientais e biológicas.

Análises de RDA são baseadas nas permutações, significando que não há nenhuma suposição de multinormalidade das variáveis na análise. Também, não há nenhuma limitação ao número das variáveis que podem ser incluídas na RDA.

A grande maioria das aplicações de ACP para dados meteo-oceanográficos envolve análise de conjunto de dados de múltiplas observações de um campo. Estas observações consistem de séries temporais. Assim, a finalidade da ACP para este tipo de dado é normalmente explorar, ou expressar sucintamente, as variações conjuntas no espaço e no tempo deste conjunto de variáveis.

Um dos principais propósitos da ACP é reduzir um conjunto de dados contendo um grande número de variáveis para um conjunto contendo um número bem menor de novas variáveis que devem representar uma grande fração da variabilidade contida nos dados originais. Assim, dado múltiplas observações de um dado vetor  $\mathbf{x}$  ( $K \times 1$  observações), espera-se encontrar ( $M \times 1$ ) vetores  $\mathbf{u}$ , cujos elementos são função dos elementos de  $\mathbf{x}$ , que contém a maior parte da informação da coleção original de valores de  $\mathbf{x}$ , e cuja dimensionalidade é  $M \ll K$ . Os elementos destes novos vetores  $\mathbf{u}$  são chamados de componentes principais.

O método de componentes principais está baseado em uma matriz  $A_{p \times p}$  simétrica, não-singular, tal que a matriz de covariância  $S$  pode ser reduzida a uma matriz diagonal  $L$  por uma pré-multiplicação e pós-multiplicação por uma matriz particular ortonormal :

$$U'SU = L \quad (3.20)$$

Onde,  $L$  é a matriz diagonal com elementos  $l_1, l_2, \dots, l_p$ , os quais são chamados raízes características ou autovalores de  $S$ . As colunas de  $U$ ,  $u_1, u_2, \dots, u_p$  são chamadas de vetores característicos ou auto-vetores de  $S$  e  $U'$  é a transposta de  $U$ .

Os auto-valores podem ser obtidos resolvendo-se o determinante, chamado de equação característica:

$$|\mathbf{S} - \mathbf{I}| = 0 \quad (3.21)$$

Onde  $\mathbf{I}$  é a matriz identidade. Esta equação produz um polinômio de  $p^{\text{ésimo}}$  grau em  $l$ , a partir do qual os valores  $l_1, l_2, \dots, l_p$  são obtidos. O número de auto-vetores é igual ao número de variáveis utilizadas. O primeiro auto-vetor representa a variabilidade de um processo. Se duas variáveis fossem negativamente correlacionadas, os coeficientes do primeiro auto-vetor teriam sinais opostos.

A razão de cada auto-vetor para o total indica a proporção da variabilidade explicada ou associada por cada componente principal (CP), ou seja, para conhecer qual a fração da variância total dos dados é explicada pela componente, deve-se fazer:

$$\% z_1 = \frac{l_1}{Tr(\mathbf{L})} \quad (3.22)$$

Mostra se duas medidas andam juntas e podem ser inter-relacionadas. Entretanto, os auto-valores e os auto-vetores devem ser considerados apenas estimativas amostrais.

Uma propriedade importante da ACP é que a variabilidade total especificada por qualquer uma das medidas (as variáveis originais ou as CPs) é preservada. Ou seja:

$$|\mathbf{S}| = |\mathbf{L}| = l_1 l_2 \dots l_p \quad (3.23)$$

Isto é, o determinante da matriz de covariância dos dados originais é igual ao produto dos auto-valores. Outra importante propriedade da ACP é que a soma das variâncias originais é igual a soma dos auto-valores. Isso mostra que os auto-valores podem estar relacionados com as variâncias dos dados.

Para encontrar a correlação entre o primeiro auto-vetor e a primeira variável utiliza-se a equação:

$$\frac{u_{11} \sqrt{l_1}}{s_1} \quad (3.24)$$

Pode-se encontrar para cada CP quais variáveis andam juntas, quais andam em sentido oposto e quais não possuem relação alguma umas com as outras.

Os dados desse estudo foram transformados por raiz quadrada. As análises empregaram medidas de similaridade do tipo Distância Euclidiana, que aplicada a valores de raiz quadrada da proporção resultam na Distância de Hellinger (LEGENDRE e LEGENDRE, 1998; LEGENDRE e GALAGHER, 2001). Empregou-se o método de Ward para a formação dos grupos, seguindo proposição de Milligan e Cooper (1987). Os padrões observados foram testados através de modelos de simulação de Monte Carlo através de 10000 permutações da matriz. Consideraram-se significativas as diferenças de até 5 % ( $p = 0,05$ ) para valores superiores ou iguais aos valores de referência.

Os principais gradientes temporais também foram explorados através de ACP, aplicadas à matriz de CPUEs, transformada por raiz quadrada, e à matriz de variáveis ambientais. As relações entre as variáveis ambientais e os padrões de captura também foram avaliadas através de RDA (LEGENDRE e ANDERSON, 1999), empregando-se a matriz de CPUEs transformada, e a matriz de parâmetros ambientais.

A existência de gradientes significativos nas ACPs foi testada através de Análises Paralelas, permutando-se os dados da matriz original e refazendo-se a ACP num total de 15 vezes. Para tal calculou-se as estatísticas de interesse para os autovalores resultantes, nos quatro eixos, comparando-as com os valores correspondentes originais. As relações entre as estruturas representadas na matriz discriminante e as variações da CPUE, por sua vez, foram testadas através de 9999 permutações de Monte Carlo, utilizando-se rotina já incorporada ao Programa *Canoco for Windows 4.54*<sup>®</sup> (TER BRAAK e SMILAUER, 2002), e considerando-se  $p$  crítico de 0,05.

Com o objetivo de verificar possíveis correlações entre os parâmetros ambientais selecionados e o comportamento das CPUEs no tempo, foi realizada uma RDA, empregando matrizes explicativas (parâmetros ambientais) e matrizes explicadas (CPUEs). Os dados também foram transformados por raiz quadrada, resultando em distâncias de Hellinger (LEGENDRE e GALAGHER, 2001). A significância estatística foi testada através de modelos de permutação de Monte Carlo (9999 permutações da matriz;  $p \geq 0,05$ ), utilizando-se rotina do programa *Canoco for Windows 4.54* (TER BRAAK e SMILAUER, 2002).

O fluxograma apresentado na Figura 3.13 resume os procedimentos metodológicos empregados nesse trabalho.



Figura 3.13 - Fluxograma metodológico das análises empregadas nesse trabalho.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse trabalho busca verificar se a variabilidade climática marinha, nas escalas anual e interanual, apresenta alguma relação com a pesca da sardinha-verdadeira na PCSE. Essa variabilidade é analisada a partir de propriedades físicas meteo-oceanográficas como TSM, vento e transporte de Ekman, bem como índices climatológicos MEI, AAO e GITA.

#### 4.1 - Climatologia

Os resultados referentes à climatologia das variáveis estudadas, nas quatro áreas desse estudo, são apresentados nessa seção. As Tabelas A.1 e A.2 (APÊNDICE A) contêm valores das respectivas médias e desvios padrão. O período utilizado para determinação da climatologia de TSM foi de 1985 a 2006. As componentes da velocidade do vento foram analisadas a partir das séries climatológicas do CDAS (*Climate Data Assimilation System*). A climatologia dos parâmetros estudados estão coerentes com os resultados de Soppa (2007), Wainer e Taschetto (2006), Jablonski (2003), Taschetto e Wainer (2002).

##### 4.1.1 - TSM

A Figura 4.1 mostra a presença do ciclo anual, o principal modo da variabilidade da TSM na região, devido à variação da radiação solar. Nos meses de dezembro a abril, todas as áreas apresentaram TSMs elevadas, com máximo de 26,4°C nos meses de fevereiro e março nas áreas Q2 e para as áreas mais costeiras Q1M, Q2M. A partir do mês de maio ocorreu uma diminuição da TSM com um mínimo de 19,0°C no mês de agosto para a área QM1. As áreas Q1 e QM1 apresentaram uma maior variação sazonal da TSM e uma amplitude máxima de 7,4°C na área QM1 (Figura 4.1). O gradiente lateral da temperatura da superfície do mar é evidenciado nos valores climatológicos principalmente das áreas Q1 e QM1. No mês de agosto, observa-se uma diferença de TSM mais acentuada entre as áreas de estudo. Nos meses de janeiro e fevereiro as diferenças são menores. Os resultados encontrados estão coerentes com os descritos por Castro et al. (2006)

Leão (2008) e Castro et al. (2006) descreveram que durante o inverno são encontrados os maiores gradientes horizontais de temperatura, confinados em toda porção sul da PCSE até as proximidades de São Sebastião, devido à aparente penetração de águas relativamente frias ( $< 19^{\circ}\text{C}$ ) oriundas do sul (Corrente Costeira da Patagônia) entre as isóbatas de 50 m e 100 m.



Figura 4.1 – Climatologia a partir de médias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) nas áreas de estudo para o período de 1985 a 2006.

#### 4.1.2 – Componente Zonal do Vento (u)

A climatologia da componente zonal (u) do vento está representada na Figura 4.2, enquanto os valores médios e respectivos desvios-padrão encontram-se no Apêndice A (Tabela A.3). Os ventos predominantes são provenientes de leste ao longo dos meses em ambas as áreas, com exceção do mês de julho onde ocorreu uma inversão de direção para ventos provenientes de oeste. A maior variação anual ocorreu na área Q1, com máxima intensidade nos meses de outubro e novembro ( $-1,7 \text{ m/s}$  para ambos os meses) e mínima em maio e julho ( $-0,1 \text{ m/s}$  para ambos os meses). Para a área Q2 a mesma componente apresentou sua maior intensidade nos meses de setembro e outubro ( $-2,3 \text{ m/s}$  para ambos os meses) e a menor no mês de junho ( $-0,4 \text{ m/s}$ ). Outros autores como Campos *et al.* (1995) já descreveram os campos de ventos na área de estudo. Campos *et*



a/. (1996) observaram que durante o inverno estes ventos ficam confinados entre as latitudes 20°S e 25°S.

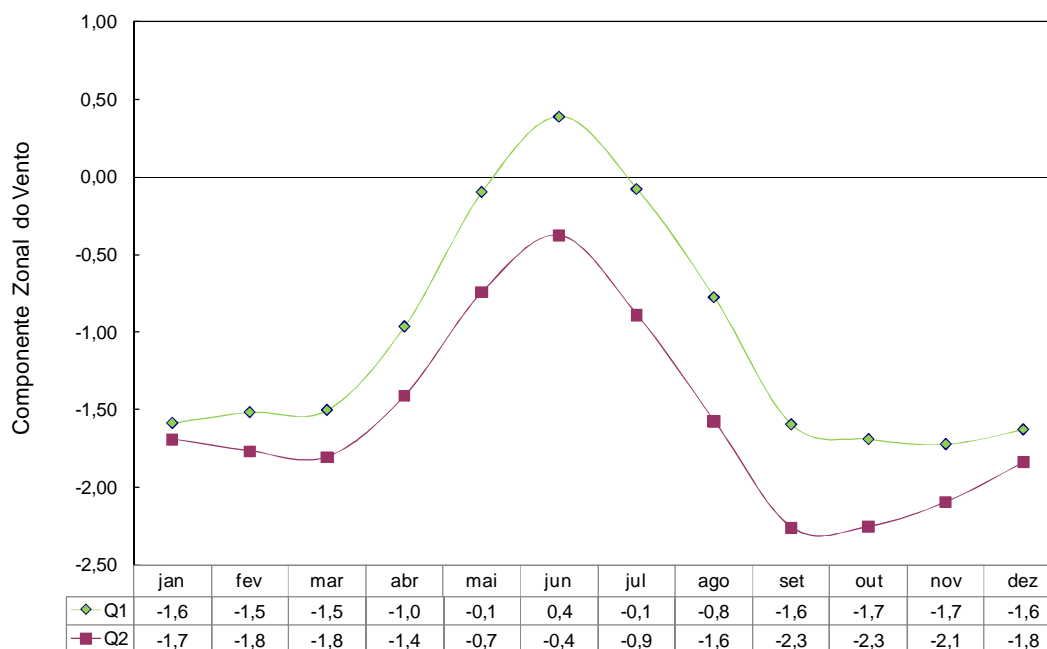


Figura 4.2 - A climatologia da componente zonal ( $u$ ) do vento, em  $\text{m.s}^{-1}$ , para as regiões de estudo Q1 e Q2 para o período de 1985 a 2006.

#### 4.1.3 - Componente Meridional do Vento ( $v$ )

A componente  $v$  da velocidade do vento (Figura 4.3, Tabela A.4) mostrou em sua climatologia maior intensidade na área Q2 em relação a Q1. Quanto à sua direção, a região Q apresentou ventos provenientes de sul praticamente ao longo de todos os meses do ano, apenas ocorrendo inversão de direção nos meses de fevereiro e junho. Para área Q1, durante seis meses predominam os ventos provenientes do quadrante sul (de março a abril e de setembro a novembro) e, nos outros seis meses, predominaram ventos do quadrante norte (dezembro, fevereiro e de maio a agosto). A maior variação anual foi observada na área Q2 como  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ . Verificou-se ainda que, a componente  $v$  possui, ao longo do ano, menor intensidade quando comparada à componente  $u$  da velocidade do vento nas duas áreas consideradas.

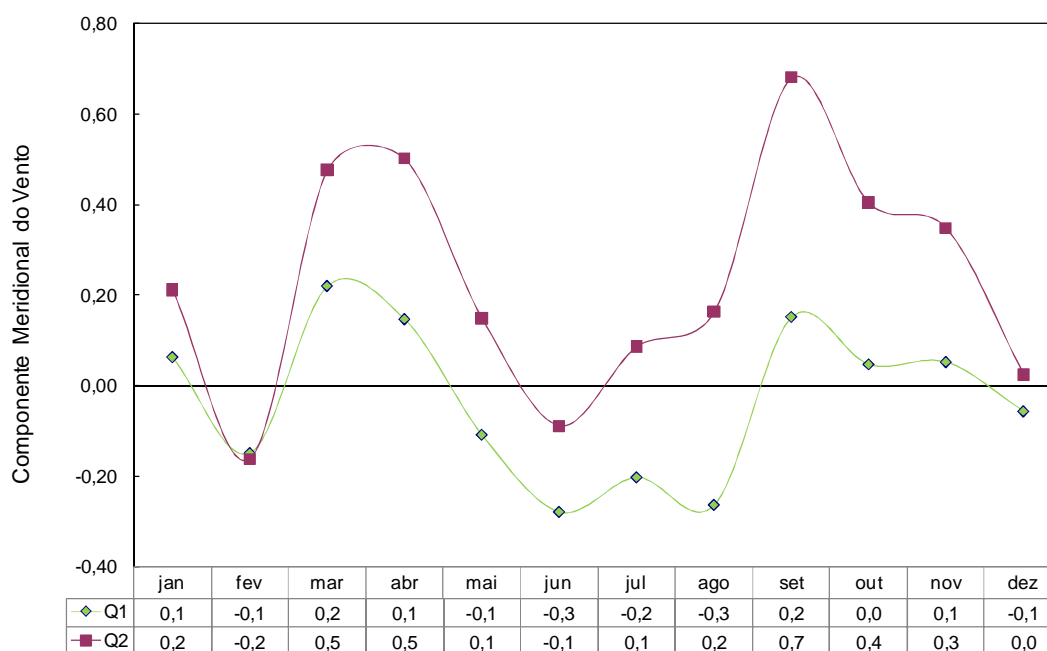


Figura 4.3 - Climatologia da componente meridional (v) da velocidade do vento, em  $\text{m.s}^{-1}$ , nas áreas de estudo Q1 e Q2 para o período de 1985 a 2006.

Passagem de sistema frontal associado a uma região de baixa pressão pode estar governando a variabilidade do campo de ventos locais e dependendo do posicionamento desse sistema em relação a costa, podem atuar na PCSE ventos de diferentes direções. A ocorrência desses sistemas é maior nos meses de setembro e outubro e menor no mês de fevereiro. Em média cada evento dura de 5 a 10 dias. A posição e a profundidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) também afeta diretamente a intensidade e a direção dos ventos sobre a plataforma continental (CASTRO et al., 2006). Assim, ventos de quadrante sul estão, normalmente, associados à passagem de sistemas frontais pela região, enquanto os de norte são relacionados a condições atmosféricas mais estáveis com predomínio da ASAS (TASCHETTO e WAINER, 2002; WAINER e TASCHETTO, 2006).

#### 4.1.4 - Transporte de Ekman

O transporte de Ekman (Figura 4.4, Tabela A.5) apresentou em sua climatologia os menores valores nos meses de maio e junho para as áreas Q1 e Q2, sendo o valor mínimo de  $-0,4 \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  em junho para Q1 e de  $14,3 \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  em maio para Q2. Enquanto que os maiores valores foram obtidos para os meses de setembro, outubro e

novembro, para ambas as áreas Q1 e Q2. Observaram-se picos máximos nos meses de setembro (165,1  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  em Q2) e outubro (95,8  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  em Q1), durante período de primavera.

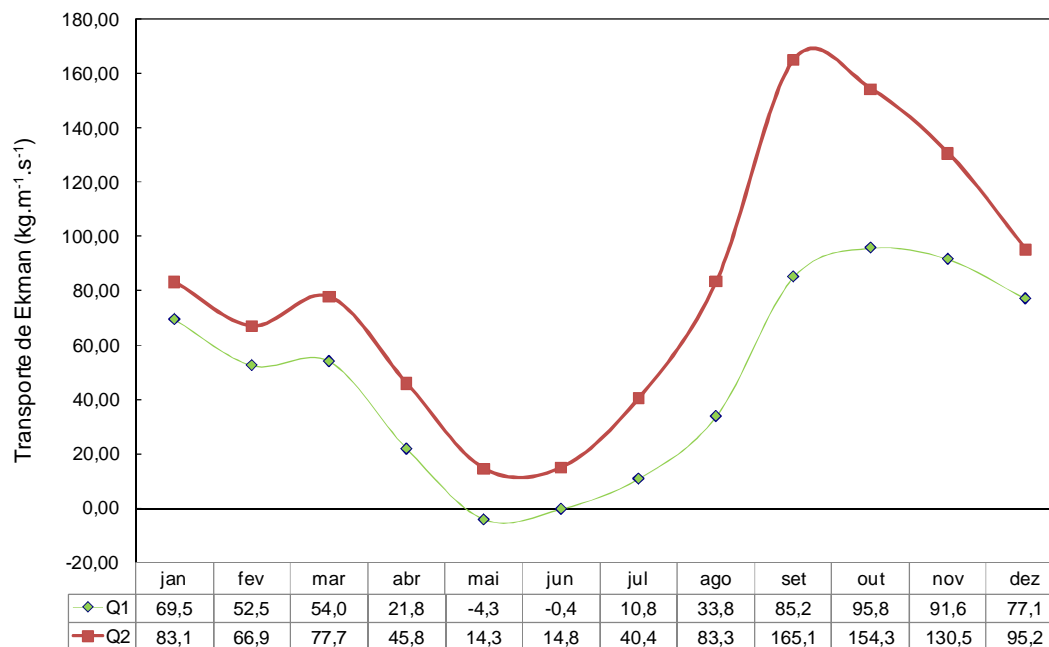


Figura 4.4 - Climatologia do transporte de Ekman, em  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , nas áreas de estudo Q1 e Q2 para o período de 1985 a 2006.

Os resultados encontrados para a climatologia do transporte de Ekman estão relacionados à climatologia das componentes zonal e meridional do vento. O transporte de Ekman na direção da costa é causado por ventos de quadrante sul, que tendem a acumular água na linha de costa. Enquanto que, o transporte de Ekman na direção ao mar aberto é causado por ventos de quadrante norte tendendo a retirar água na linha de costa. Na PCSE, o vento climatológico predominante é de leste ou de nordeste, impulsionando correntes predominantes para sudoeste e favorecendo a transporte de Ekman.

#### 4.2 - Anomalia Normalizada das Séries Temporais

Buscando pesquisar a variabilidade climática das regiões de estudo e estabelecer possíveis semelhanças entre essas áreas, foram estimadas as anomalias mensais normalizadas das séries temporais consideradas. São também apresentados gráficos

comparativos entre as anomalias normalizadas dos parâmetros estudados e a CPUE da sardinha-verdadeira na área de estudo.

Incertezas biológicas consistem-se de: a) incerteza do processo, aleatoriedade da variação temporal no recrutamento e em outras características da população; b) incerteza observacional, durante a coleta de dados; c) incerteza na estimativa, referente a incertezas nos valores de parâmetro estimados; d) incerteza no modelo, incluindo sua forma e estrutura; e) a incerteza estrutural (MCALLISTER e KIRCHNER, 2002), sobre o modelo ser o mais apropriado para a finalidade que se deseja aplicá-lo. Incertezas na base de dados podem levar a resultados desastrosos dos programas de gerenciamento pesqueiro. O primeiro passo é identificar as principais fontes de incerteza que podem influenciar uma dada pescaria, por exemplo, a pesca da sardinha-verdadeira. Em seguida, quantificar estas incertezas e planejar estratégias de gestão que minimizem o risco de uma exploração excessiva e, assim, manter uma pesca produtiva e sustentável.

Clark (2006) detecta vários problemas que devem ser considerados na avaliação de estoques pesqueiros, como: a) polarização, onde um método pode tender a superestimar ou subestimar o estoque com o aperfeiçoamento da atividade pesqueira; b) grandes intervalos de confiança, isto é, estimativas numéricas da abundância são sujeitas a grandes incertezas; c) capturas não-relatadas, por exemplo, capturas secundárias, descartes e pescas ilegais, que podem distorcer as estimativas; d) custo elevado, por exemplo, para as pesquisas.

#### **4.2.1 – Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM)**

As séries temporais de ATSM podem ser visualizadas nas Figuras 4.5 (área Q1), 4.7 (área QM1) 4.9 (área Q2) e 4.11 (área QM2). As Figuras 4.6, 4.8, 4.10 e 4.12 mostram as series de ATSM e de CPUE para as respectivas áreas de estudo. Os resultados obtidos para as anomalias de temperatura da superfície do mar estão de acordo com os obtidos por Lentini et al. (2001).

Na área Q1, foram observados períodos de predomínio de anomalias positivas no início da série até o verão de 1987, do outono de 1991 ao inverno de 1992 e do verão de 2000 até o verão de 2003 (Figuras 4.5 e 4.6). Os maiores valores de ATSM positiva foram registrados nos meses de novembro de 1990, fevereiro de 2001 e junho de 2005.

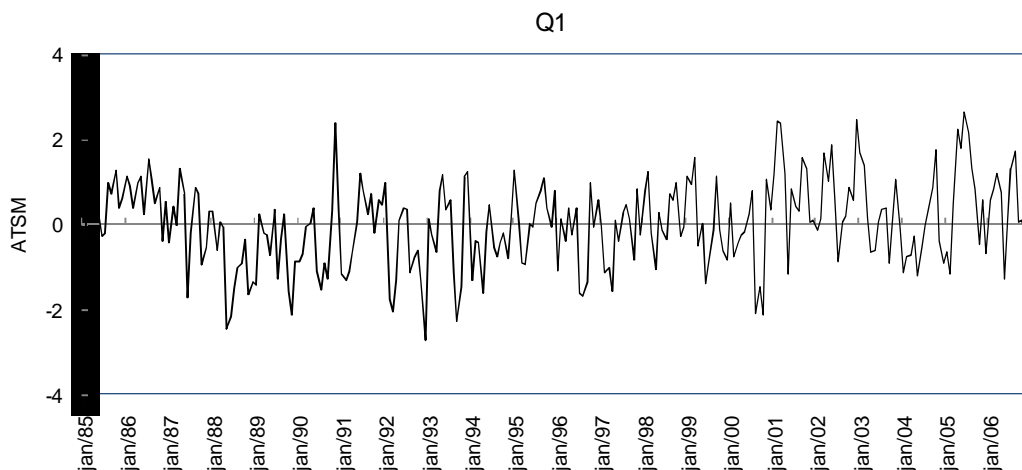


Figura 4.5 - Anomalia mensal normalizada da TSM na área Q1 para o período de 1985 a 2006.

Quanto aos períodos onde as anomalias negativas predominaram, destacaram-se os períodos entre inverno de 1987 e primavera de 1990, entre o verão de 1992 e inverno de 1995 e entre o verão de 2003 e o verão de 2005. Os extremos de anomalias negativas foram observados nos meses de maio de 1988, dezembro de 1992 e fevereiro de 2001 (Figuras 4.5).

A Figura 4.6 mostra que a série temporal de ATSM e CPUE na área Q1 estão visualmente relacionadas durante a maior parte do período considerado, onde um aumento na anomalia positiva da ATSM levaria a um aumento na captura de sardinha-verdadeira na área considerada.

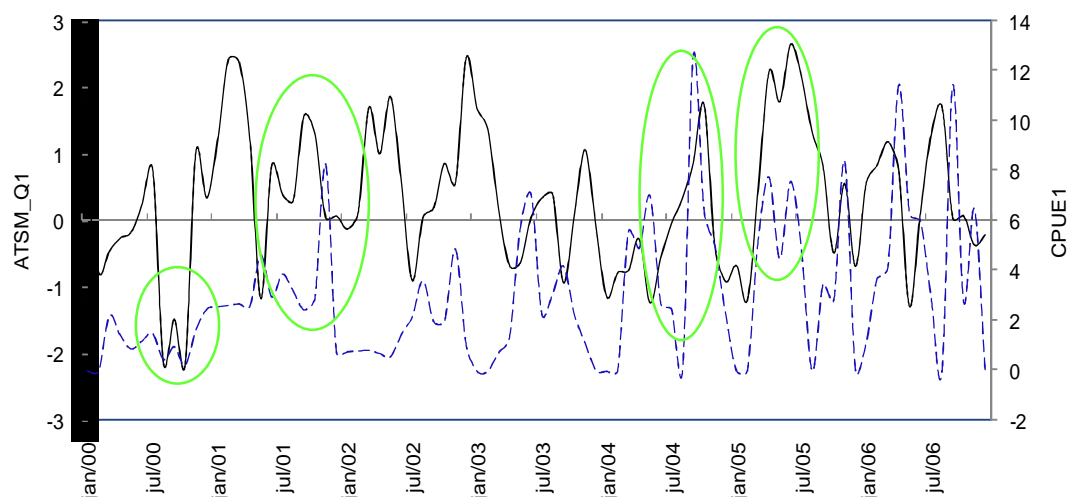


Figura 4.6 – Comparativo entre séries temporais de ATSM e CPUE para a área Q1 para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.

A área QM1 apresentou períodos de predomínio de anomalias positivas no início da série até o verão de 1988, e do verão de 2000 ao final da série (Figura 4.7). Os maiores valores de ATSM positiva foram registrados nos meses de março de 1999, fevereiro de 2001, dezembro de 2002, abril e junho de 2005 e julho de 2006.

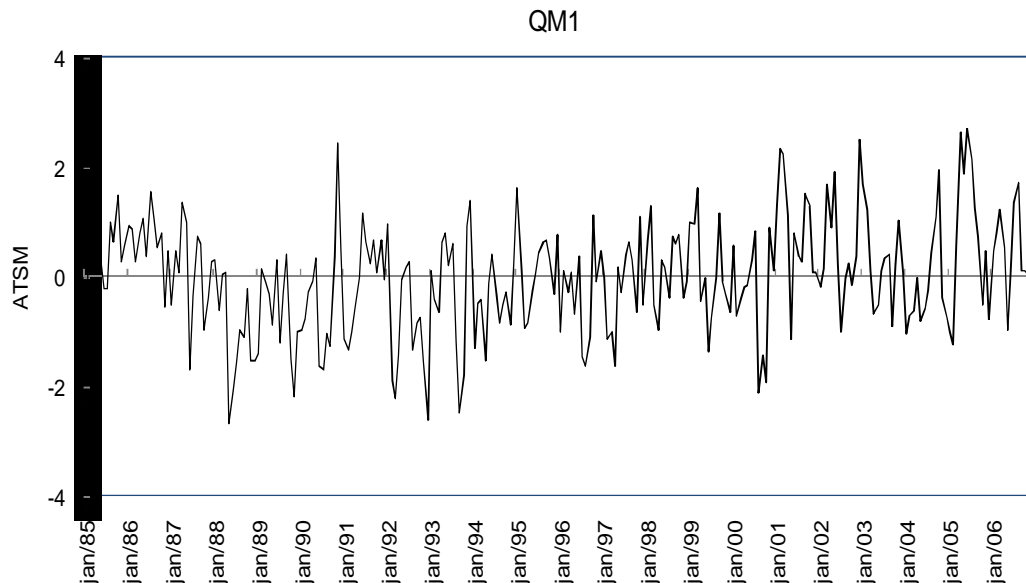


Figura 4.7 - Anomalia mensal normalizada da TSM na região QM1 para o período de 1985 a 2006.

Do outono de 1988 ao inverno de 1997 foi o período quando as anomalias negativas da ATSM mais predominaram na área QM1. Os valores extremos dessas anomalias negativas foram verificados para os meses de maio de 1988, novembro de 1990, fevereiro de 1991, março de 1992, abril de 1997 e junho de 1999 (Figura 4.7).

Como visto para a área Q1, a Figura 4.8 também mostra através de análise visual que as séries de ATSM na área mais costeira (QM1) e a CPUE da sardinha-verdadeira na área Q1 (Estado de Santa Catarina) covariam durante a maior parte do período, indicando uma provável relação entre ambas.

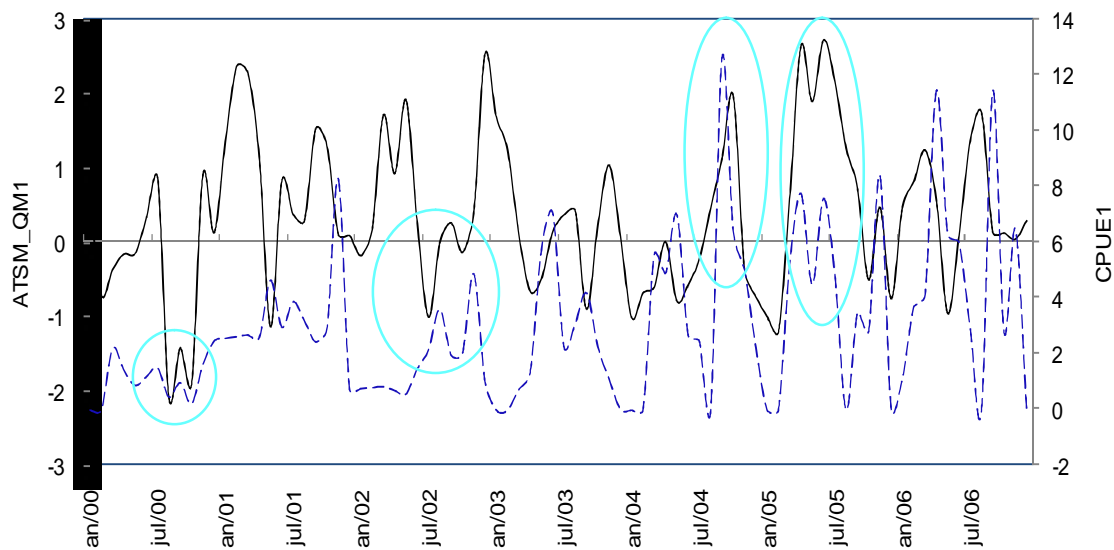


Figura 4.8 – Comparativo entre as séries de ATSM para a área QM1 e CPUE para a área Q1, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.

Na área Q2 os períodos predominantes de anomalias positivas da ATSM foram do início da série até o verão de 1988, do verão de 1998 ao outono de 1999 e da primavera de 2000 ao final da série (Figura 4.9). Os valores mais altos da ATSM positiva foram registrados nos meses de julho de 1986, fevereiro de 1996, janeiro de 1999, fevereiro de 2001, de maio a outubro de 2002, de abril a junho de 2005 e outubro de 2006.

Já os períodos onde predominaram as anomalias negativas para a área Q2 foram do verão de 1988 até a primavera de 1994 e do outono de 1996 ao verão de 1997. Os meses de julho de 1988, julho de 1990, fevereiro, março e dezembro de 1992, abril de 1994 e agosto de 2000 foram os meses quando esses valores foram mais extremos (Figura 4.9).

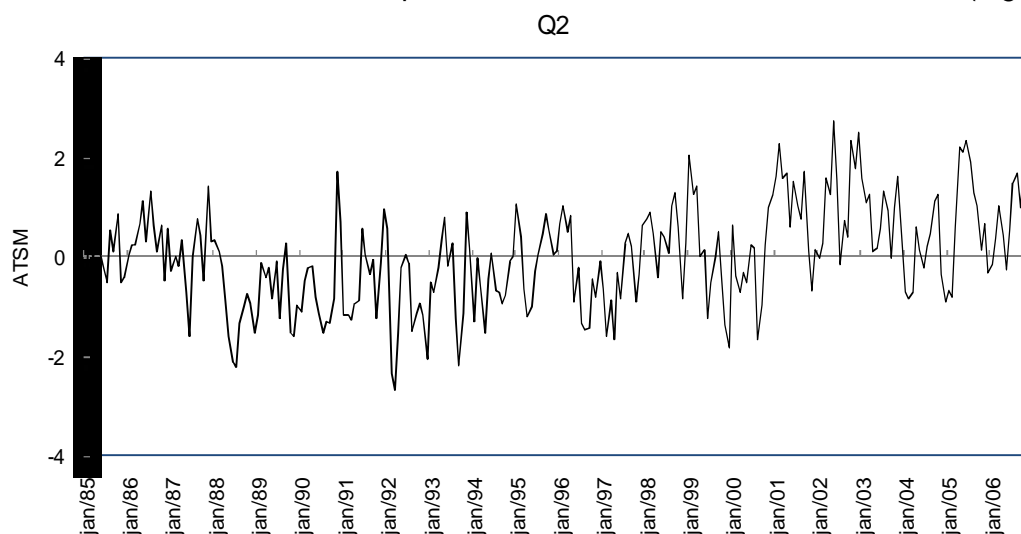


Figura 4.9 - Anomalia mensal normalizada da TSM região Q2 de 1985 a 2006.

A Figura 4.10, ao contrário do visto para as áreas Q1 e QM1, mostra que predominantemente valores de anomalias negativas de TSM na área Q2 estão relacionados com o aumento da CPUE na mesma área e que anomalias positivas de TSM levam a uma diminuição da CPUE da sardinha-verdadeira em Q2.

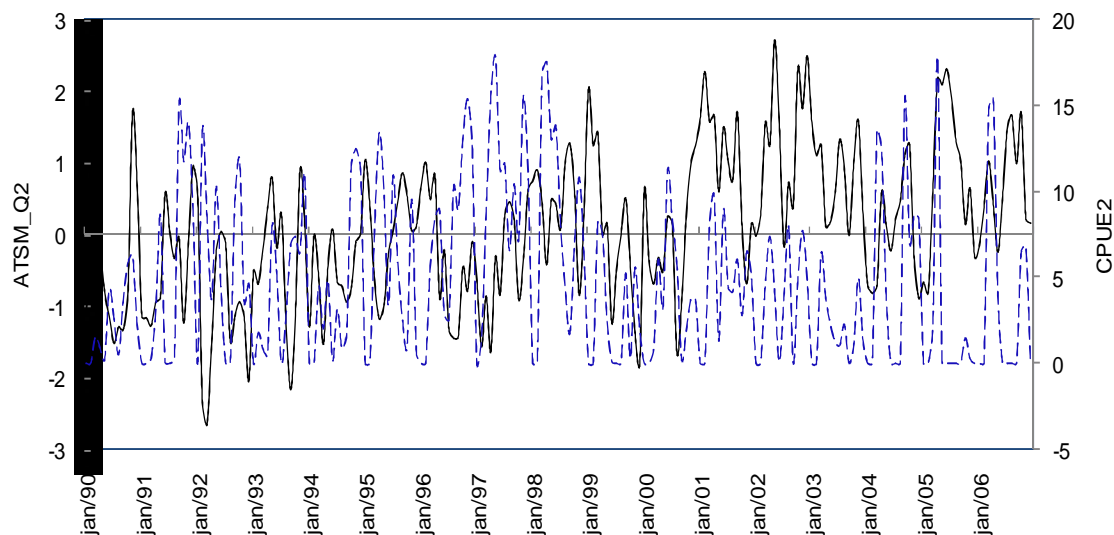


Figura 4.10 – Comparativo entre as séries temporais de ATSM e CPUE na área Q2 para o período de janeiro de 1990 à dezembro de 2006

Como visto na Figura 4.11, para a área QM2, destacaram-se os períodos do início da série até o verão de 1987, da primavera de 2000 ao verão de 2004 e do verão de 2005 até o final do ano de 2006 com o predomínio de anomalias positivas e do verão de 1988 à primavera de 1994; do outono de 1996 ao inverno de 1997 para as anomalias negativas.

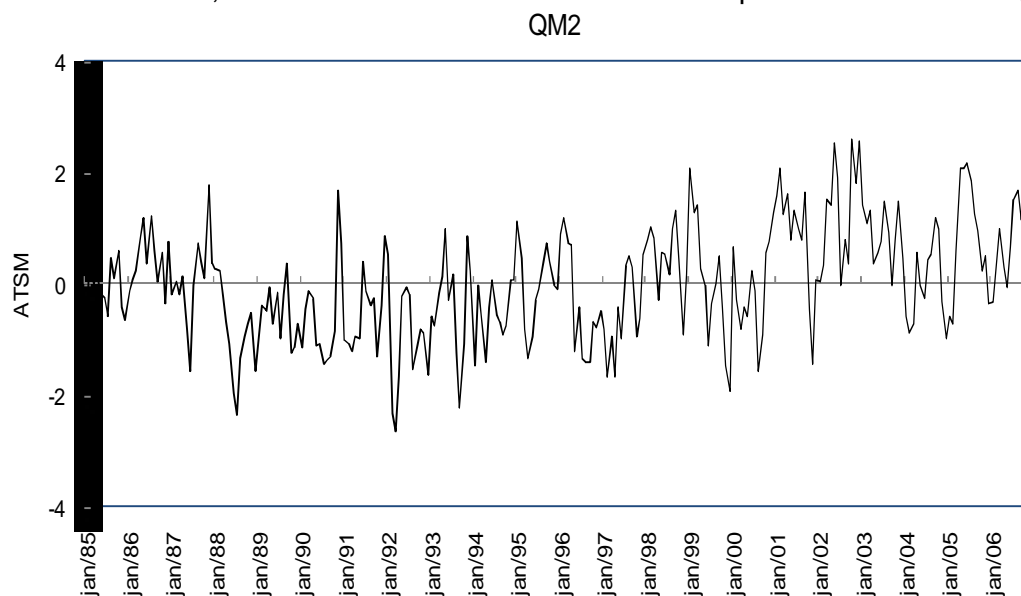


Figura 4.11 - Anomalia mensal normalizada da TSM na região QM2 de 1985 a 2006.



Os picos das anomalias positivas para a área QM2 foram observados nos meses de julho de 1986, novembro de 1990, dezembro de 2000, fevereiro de 2001, maio e dezembro de 2002 e de abril a junho de 2005. E as anomalias negativas mais intensas ocorreram nos meses de julho de 1988 e 1990, agosto de 1996 e 2000 e dezembro de 1999 (Figuras 4.11).

Como na área Q2 (macro área), a Figura 4.12 indica visualmente que valores de anomalias negativas de TSM na área QM2 tendem se relacionar com o aumento da CPUE na área Q2 (Estados de São Paulo) e que ATSM positivas sugerem uma diminuição na captura da sardinha-verdadeira em Q2.

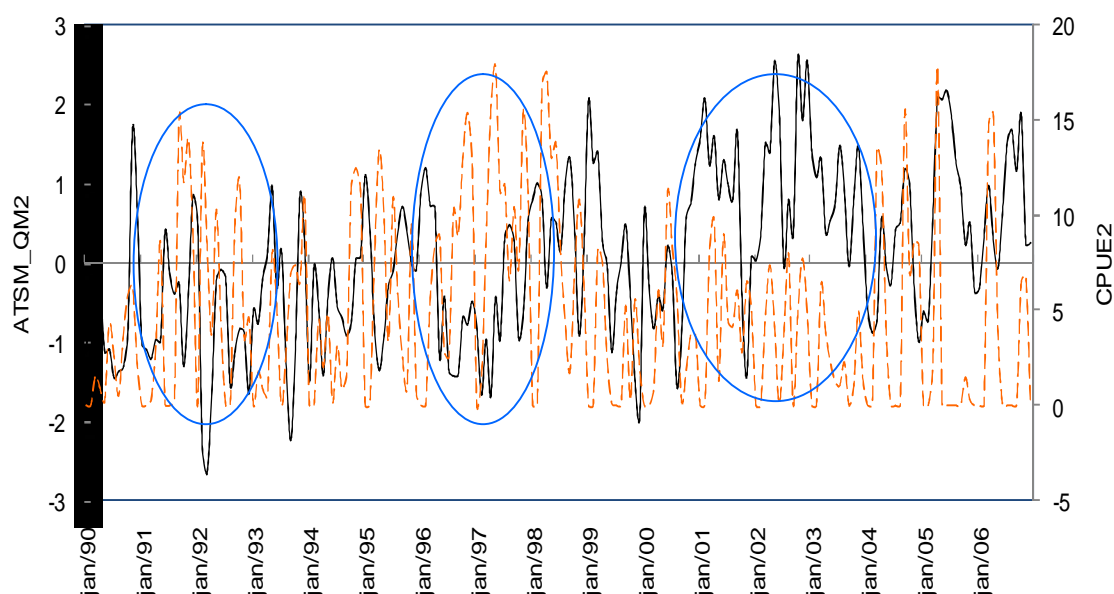


Figura 4.12 - Comparativo entre as series temporais de ATSM e CPUE na area QM2 para o período de janeiro de 1990 à dezembro de 2006.

Nota-se uma tendência dos valores extremos de ATSM ocorrerem em anos de *El Niño* e *La Niña*, eventos ENOS (Tabela 4.1). As áreas de estudo apresentaram as máximas anomalias negativas durante o período de *El Niño* estendido de 1991/1994, considerado evento de alta intensidade. Os valores observados para 1988 podem ser relacionados com um ano de transição do *El Niño* de 1987/1988 e da *La Niña* de 1988/1989, se referindo como um ano de *El Niño* +1 ou um período de pré *La Niña*. Portanto, sugere-se uma tendência para que ATSMs negativas sejam relacionadas às fases positivas

(quentes) e negativas (frias) de ENOS. Os resultados encontrados nesse trabalho são coerentes com os obtidos por Lentini et al. (2001).

Tabela 4.1 - Valores mínimos da anomalia normalizada da TSM adimensional entre 1985 e 2006 e o período de ocorrência

<b>Q1</b>	<b>QM1</b>	<b>Q2</b>	<b>QM2</b>
DEZ/92 = -2,7	MAI/88 = -2,7	MAR/92 = - 2,7	MAR/92 = -2,6
MAI/92 = -2,5	DEZ/92 = -2,6	FEV/92 = -2,3	JUL/88 = -2,3
SET/93 = -2,3	SET/93 = -2,5	JUL/88 = -2,2	FEV/92 = -2,3

Analisando as anomalias positivas, verificou-se que as áreas Q1 e QM1 (plataforma continental dos Estados de Santa Catarina e do Paraná), tiveram seus valores máximos de ATSM durante o El Niño (fraco) de 2004/2005 (Tabela 4.2). O ano de 2005 foi caracterizado por um período de fase quente do ENOS durante o primeiro semestre, seguido um período de fase fria do ENOS na segunda metade do ano. Enquanto que as áreas Q2 e QM2 (localizadas no litoral do Estado de São Paulo) apresentaram as máximas anomalias positivas durante o pré El Niño (maio) e El Niño (outubro e dezembro) de 2002/2003.

Tabela 4.2 - Valores máximos da anomalia normalizada da TSM adimensional entre 1985 e 2006 e o período de ocorrência

<b>Q1</b>	<b>QM1</b>	<b>Q2</b>	<b>QM2</b>
JUN/05 = 2,6	JUN/05 = 2,7	MAI/02 = 2,7	OUT/02 = 2,6
DEZ/02 = 2,5	ABR/05 = 2,6	DEZ/02 = 2,5	DEZ/02 = 2,6
FEV/01 = 2,4	DEZ/02 = 2,5	OUT/02 = 2,3	MAI /02 = 2,5

Verificou-se também um aumento anômalo da TSM em média de 6 a 8 meses após o período mais intenso dos El Niños (Figura 3.6) 1986/1987, 1991/1992 1997/1998 e 2002/2003. Em 2 meses que antecediam anos considerados de El Niño (fase positiva do ENOS) encontramos aumento nas anomalias, ora positiva, ora negativa. Para o evento de El Niño de 1991/1992, o aumento nas anomalias negativas ocorreu 5 meses antes do mesmo. Também para os anos La Niña de 1988/1989, 1995/1996 e 1999/2000, evidenciaram-se aumentos nas anomalias negativas. Para o evento de El Niño de

2004/2005 teve-se aumento nas anomalias positivas. Os valores mínimos de ATSM, podem ser associados à períodos “pré-La Niña” dos eventos de 1995/1996, 1999/2000 e 2005/2006 considerando toda área de estudo. Durante o evento de El Niño 1991-1994, os dados analisados mostram a falta de um sinal uniforme, período esse em que os sistemas atmosféricos sobre Brasil tiveram um comportamento anômalo (CAVALCANTI, 1996).

Considerando a variação sazonal de períodos de inverno e verão, para todas as áreas de estudo, observou-se que o verão de 2001 (La Niña) foi o mais quente e os de 1992 e 2004 (El Niño) foram os mais frios em relação aos verões dos outros anos. Para as anomalias de TSM de inverno, o ano de 2005 (El Niño fraco) apresentou o inverno mais quente e o de 1988 (“pós-El Niño” 1986/1988) e 2000 (“pós-La Niña” 1998-2000) os mais frios. Esses resultados são semelhantes aos apresentados por Leão (2008) que analisando imagens de AVHRR encontrou os mesmos anos de máximos e mínimos valores. A autora mostrou que durante o inverno em alguns anos (2000, 2002 e 2003), valores de TSM, principalmente das áreas mais costeiras da PCSE (incluindo QM1 e QM2), sofreram maior influência da intrusão de águas mais frias vindas do sul.

Esse fluxo em direção ao norte, durante os meses de inverno, presente ao longo da PCSE e com largura da ordem do raio de Rossby interno (aproximadamente 20 km) é governado pelo balanço entre a componente horizontal da força gradiente de pressão, a descarga de água doce do Rio da Prata e a força de Coriolis e induz a intrusão dessa água mais fria e menos salina até a região próxima ao Rio de Janeiro (CAMPOS et al., 1996). Esse cenário é consistente com as observações locais, como relatada previamente em 26°S (BRANDINI, 1990), em 24°S (SUNYE e SERVAIN, 1998), e em 23°S (CAMPOS et al., 1996; STEVENSON et al., 1998). Uma interessante evidência observada por esses autores é que este fluxo em direção ao equador ocorre geralmente em meses de inverno de cada ano ENOS+1. A variabilidade interanual de ATSM sobre a PCSE está associada com a intrusão para o norte de águas frias, tais como aquela relatada por Campos et al. (1996) e Lentini (2001). Nessa mesma escala interanual podem ocorrer perturbações sobre o ciclo hidrológico médio, com verões apresentando maiores ou menores índices de pluviosidade, por exemplo, interferindo na variabilidade dessa variável.

A TSM ao longo da plataforma continental sudeste brasileira durante o verão é principalmente governada pelo balanço do fluxo de calor na superfície, um processo de larga escala. Nesse período do ano, a ACAS penetra na camada profunda em direção a

costa, atingindo muitas vezes a parte mais interna da plataforma continental. Entretanto no inverno, a TSM da região sul da PCSE, além de sofrer os efeitos do balanço do fluxo de calor na superfície, é também afetada pela advecção horizontal das águas frias vindas do sul pela Corrente da Patagônia e a Corrente Costeira do Brasil (CCB). Durante o inverno, também a ACAS se afasta em direção a quebra da plataforma continental, aumentando com isso a largura da banda costeira onde a AC (Água Costeira) é predominante (CASTRO et al., 1987).

Pela troca de energia e de massa do sistema oceano-atmosfera, em escala sazonal, as variações da radiação solar incidente sobre a superfície do oceano e a diferença entre a evaporação e precipitação, também influenciam, as características de temperatura e salinidade das águas PCSE, desde a área mais costeira até regiões intermediárias da plataforma (CASTRO et al., 2006).

Somado a esse fato, em mesoescala ocorre à penetração de vórtices e meandros frontais da Corrente do Brasil (CB) sobre a PCSE. Além do transporte da própria Água Tropical (AT), esses eventos sobre a circulação média da plataforma podem induzir o transporte vertical de águas mais frias, influenciadas pela ACAS, em direção a superfície. Tipicamente isso ocorre ao largo da isóbata de 100 m até a quebra da plataforma podendo ser observado nas proximidades da isóbata de 50 m (CASTRO et al., 2006). A área Q2, por sua localização, sofre a influência da circulação do núcleo da CB na quebra da Plataforma Continental do Sudeste (PCSE). A região Q1, por outro lado, está praticamente toda localizada sobre a PCSE e restringindo assim a atuação da dinâmica dessas correntes. Apesar disso, esse trabalho é consistente, pois foram feitas análises separadas para cada região, inclusive em relação a pesca.

#### **4.2.1.1 – Gradiente Térmico Horizontal**

Avaliando os gradientes térmicos horizontais (Figuras 4.13a, b; 4.14a, b) estimados pela diferença entre os valores de ATSM entre as áreas macro de estudo (Q1 e Q2) e as áreas micro (região mais costeira QM1 e QM2), verificamos que os valores mais altos foram obtidos para os meses de outubro (0,55 °C) e novembro (0,75 °C) de 2001. Os valores menores encontrados foram para outubro (-0,58 °C) de 1987 e maio (-0,53 °C) de 1988. Em toda série, principalmente entre as áreas Q2 e QM2, pode-se notar que existe um aumento no valor absoluto desse gradiente durante o mês de julho, devido provavelmente

a advecção da Água Costeira (AC) durante o inverno e no mês de outubro relacionado a processos de ressurgência costeira durante a primavera.

A Figura 4.13 indica que o gradiente térmico horizontal na área Q1 tende a aumentar positivamente, em direção a costa (QM1) durante eventos positivos (El Niño) do ENOS, como visto para os eventos de 1991-1994 e 1997-1998. E tendem a diminuir com a fase negativa do ENOS (La Niña), por exemplo o evento de 1998-2000, onde inverte o sentido do gradiente para direção a quebra da plataforma. Em relação do gradiente sobre a área Q2 (Figura 4.14), verifica-se que a relação entre esse gradiente e eventos do ENOS não é facilmente perceptível como para a área Q1, não apresentando padrão de variabilidade. Entretanto, nota-se que em ambas fases positiva e negativa do ENOS, especialmente de alguns eventos, como os anos La Niña de 1995-1996 e de 2000-2001 e o El Niño de 2002-2003, esse gradiente térmico horizontal variou ora em direção a costa (QM2) ora em direção a quebra da plataforma.

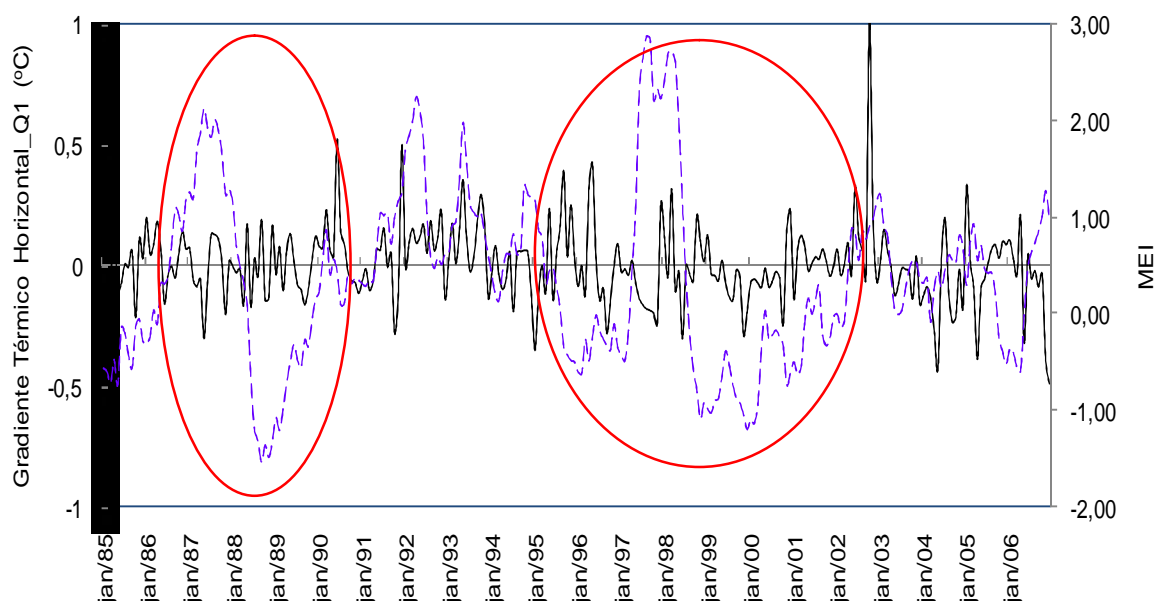


Figura 4.13 – Série temporal do gradiente térmico horizontal (gradiente lateral) entre as regiões Q1 e QM1 e índice MEI para o período de janeiro de 1990 e dezembro de 2006.

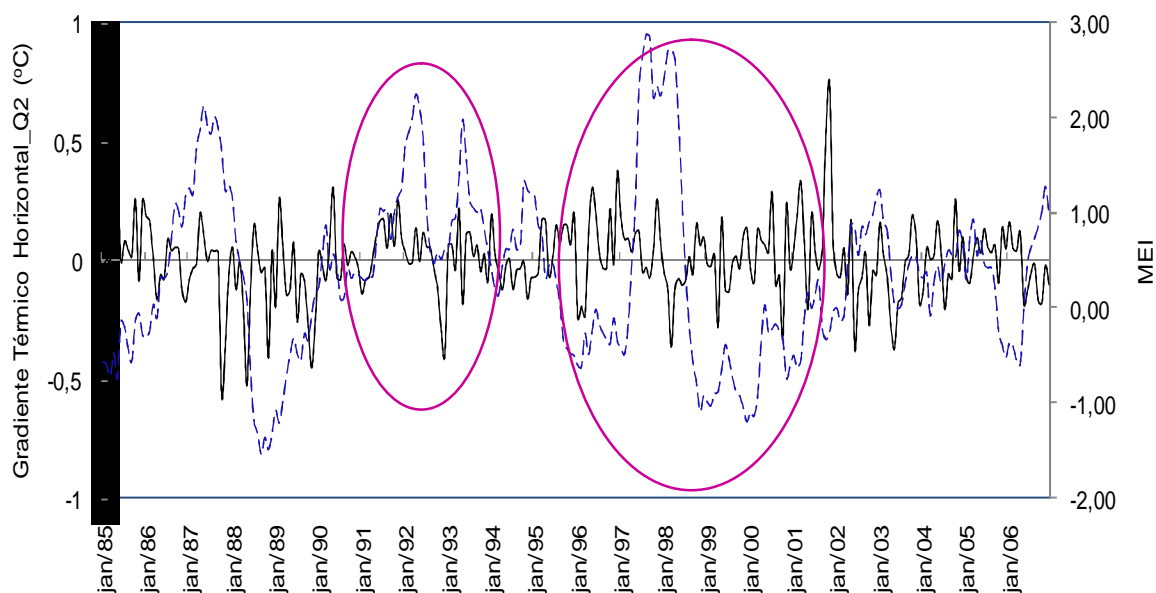


Figura 4.14 – Série temporal do gradiente térmico horizontal (gradiente lateral) entre as regiões Q2 e QM2 e índice MEI para o período de janeiro de 1990 e dezembro de 2006.

Confrontado o sinal do gradiente térmico horizontal nas áreas estudadas com o índice GITA, temos que o Gradiente Inter-Hemisférico varia predominantemente de forma similar a esse gradiente térmico, para a área Q1. Enquanto que para a área Q2 eles covariam inversamente na maior parte do período considerado (Figura 4.15a, b). Ou seja, na fase positiva do GITA (fluxo de calor em direção ao norte) o gradiente térmico horizontal em Q1 tende ser em direção a região costeira (QM1) (Figura 15a). E na fase negativa do GITA (fluxo de calor para sul) o gradiente térmico horizontal em Q1 tende ser em direção a região da quebra da plataforma (QM1). Quanto a área Q2, na fase positiva do GITA o gradiente térmico horizontal em Q2 (Figura 4.15b) tende ser em direção a quebra da plataforma e na fase negativa do GITA o gradiente térmico horizontal em Q2 tende ser em direção a região costeira (QM2). Assim, o gradiente térmico horizontal sobre a PCSE acompanha a variabilidade do fluxo de calor do oceano Atlântico, indicado pelo índice GITA. A diferença de comportamento entre as áreas Q1 e Q2 se deve, dentre outras razões, a geografia e a influência da Frente Horizontal de Superfície (FHS) tem sobre as mesmas.

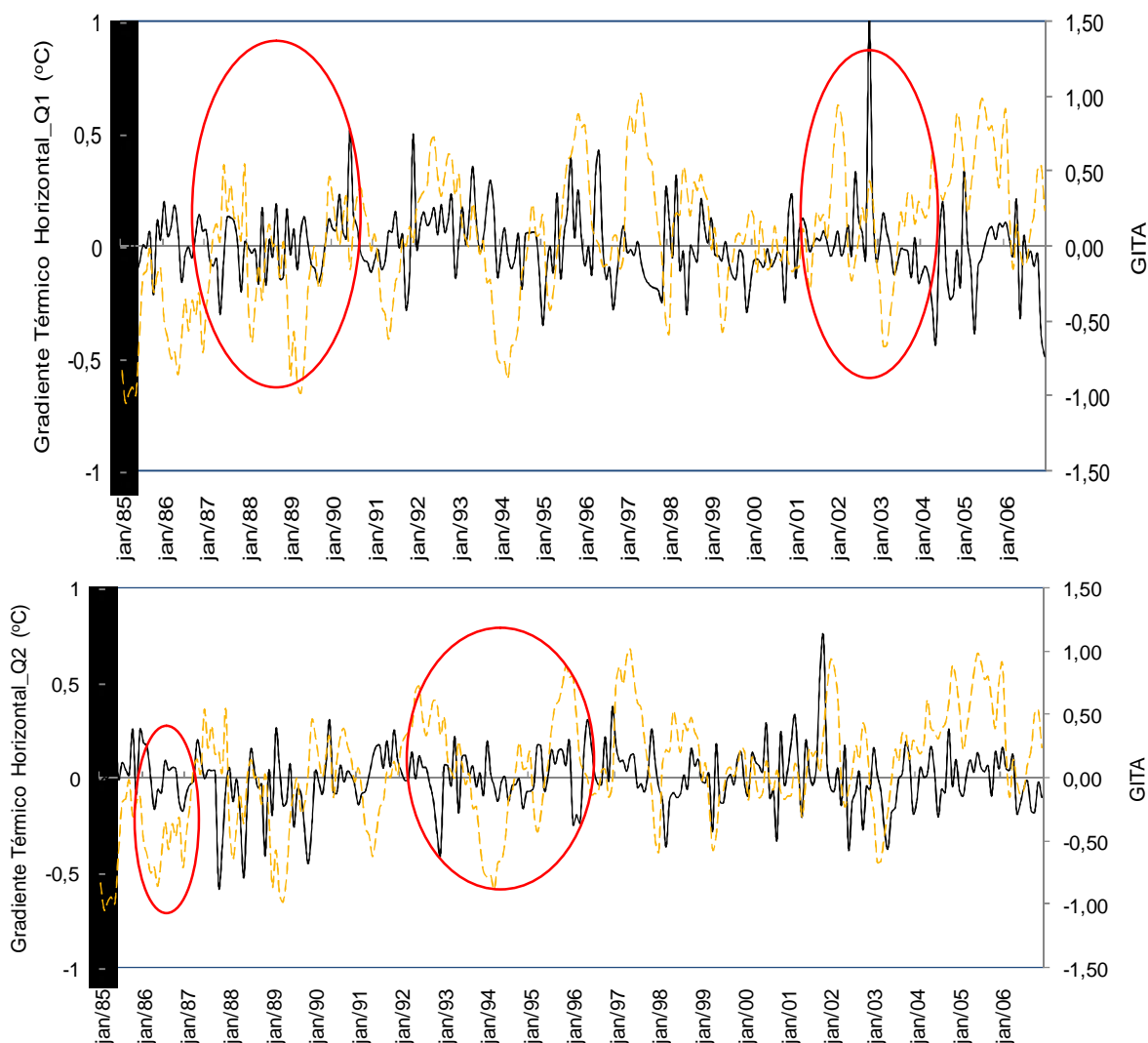


Figura 4.15 – Série temporal do gradiente térmico horizontal (gradiente lateral) entre as regiões (a) Q1 e QM1, (b) Q2 e QM2 e índice GITA para o período de janeiro de 1990 e dezembro de 2006.

O gradiente térmico horizontal é também influenciado pela variação da localização da Frente Horizontal de Superfície (FHS) com características de frente de quebra de plataforma continental e separa águas costeiras de oceânicas, sendo aparente principalmente durante o verão. Na FHS, duas massas d'água de origens distintas são nitidamente separadas. No lado interno dessa frente situam-se águas com influência da Água Costeira (AC). Sendo que no seu lado externo o predomínio é da Água Tropical (AT) que é transportada superficialmente pela Corrente do Brasil (CB). A posição da FHS é dependente das intrusões da CB em direção a costa. A água que invade a plataforma continental é a AT, ocupando a camada superficial da PSCE (CASTRO, 1996).

Análise de correlação cruzada mostrou que o gradiente na área Q1 uma defasagem de 22 meses (0,22) com o MEI; 7 meses em relação ao GITA (0,17) e 2 meses em relação ao AAO (0,17). Enquanto que o gradiente térmico horizontal na área Q2 apresentou dois picos em relação ao MEI, 44 meses (0,25) e 13 meses (0,20); 4 meses em relação ao GITA e 40 meses em relação ao AAO.

#### 4.2.2 – Anomalia da Componente Zonal (u) e Meridional (v) da Velocidade do Vento 10m

As Figuras 4.16, 4.18 e 4.20, 4.22 mostram as séries temporais das anomalias das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento.

Para a componente zonal da área Q1, verifica-se um predomínio de anomalias negativas da primavera de 1998 ao verão de 2003, principalmente do inverno de 1998 ao verão de 2000 (Figuras 4.16). As maiores anomalias negativas foram observadas em outubro de 1999 e julho de 2004. Já as anomalias positivas predominaram entre o verão de 1990 e o verão de 1997, com valores extremos nos meses de julho de 1993 e dezembro de 1991.

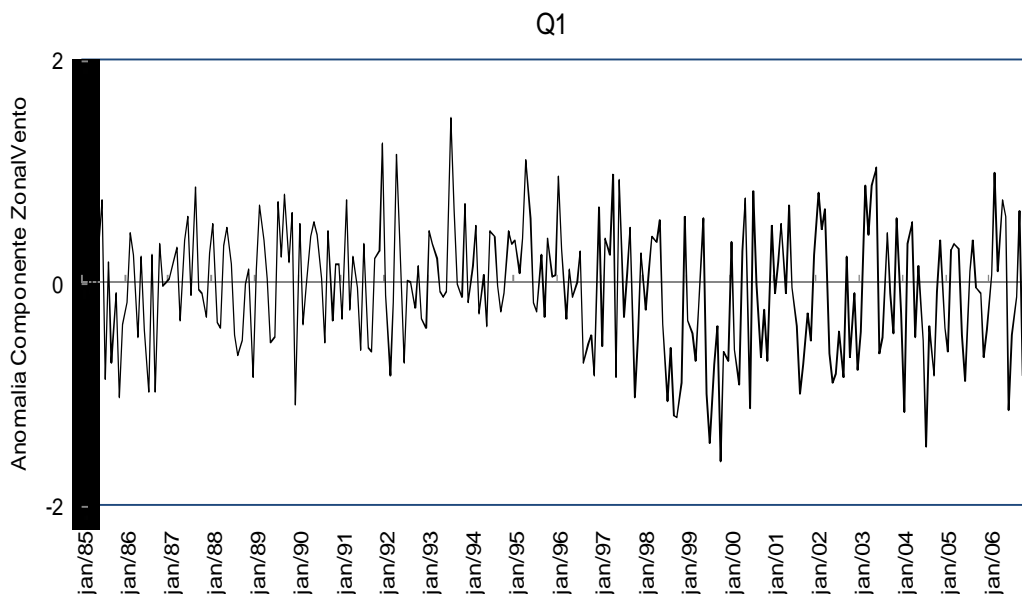


Figura 4.16 - Anomalia mensal normalizada da componente zonal (u) da velocidade do vento na região Q1 de 1985 a 2006.

Analisando visualmente as séries de anomalia mensal da componente zonal do vento na área Q1 e os respectivos valores de CPUE da sardinha-verdadeira (Figura 4.17), verifica-



se que as anomalias negativas dessa variável tende a diminuir os valores de captura dessa espécie nessa área de estudo, como visto nos anos de 2005 e 2006. Ao contrário, valores positivos de anomalia dessa componente levam a um aumento na CPUE, como por exemplo, o ocorrido nos anos de 2003 e 2006.

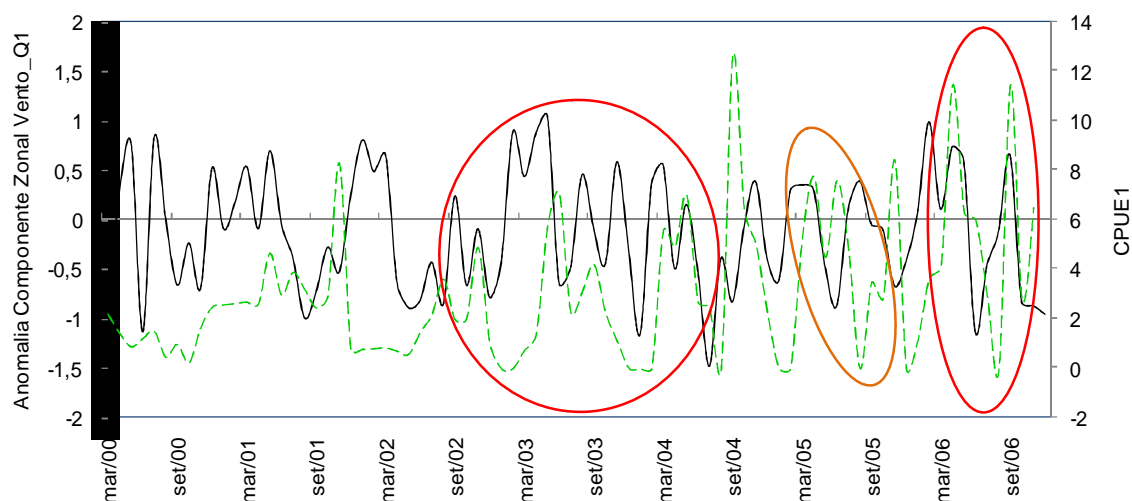


Figura 4.17 – Série temporal da anomalia mensal da componente zonal (u) da velocidade do vento e a CPUE da sardinha-verdadeira na área Q1, período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.

Considerando a componente zonal da área Q2 (Figura 4.18), praticamente em toda a série temos um predomínio das anomalias positivas. No período de 1999/2000 (La Niña) se destacam anomalias negativas (Figura 4.18). As anomalias negativas mais extremas são de julho e outubro de 1999, enquanto que a mais alta anomalia positiva foi observada no mês de dezembro de 1991.

Como na área Q1 mostrado na Figura 4.17, a área Q2 (Figura 4.19) tem comportamento similar, com a CPUE na área Q2 aumentando com os valores positivos de anomalia da componente zonal do vento, também medido na área Q2, por exemplo para os anos de 1991±1992 e 1997. Diminuindo a CPUE com os valores negativos de anomalia dessa componente do vento em Q2 em 1999, por exemplo.

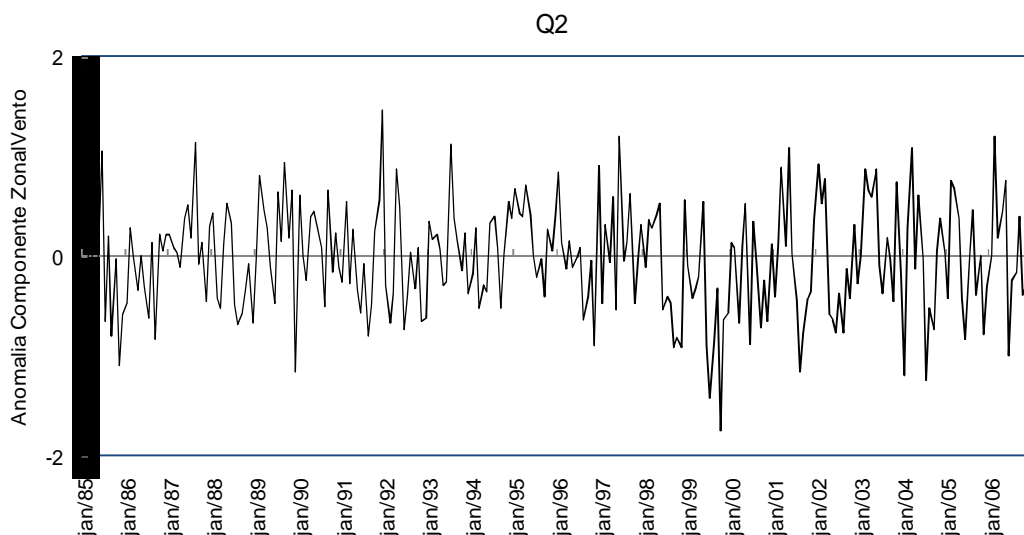


Figura 4.18 - Anomalia mensal normalizada da componente zonal (u) da velocidade do vento na região Q2 para o período de 1985 a 2006.

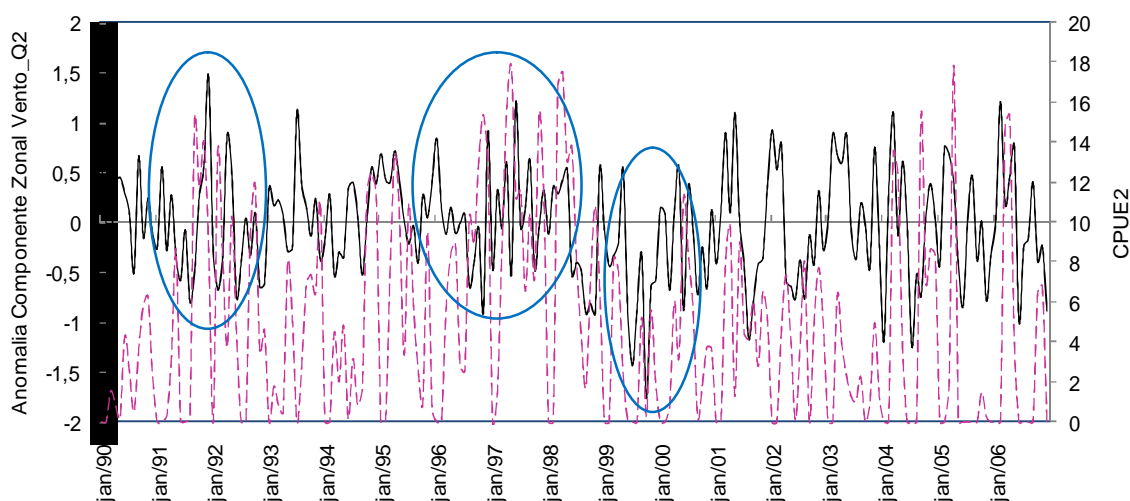


Figura 4.19 – Série temporal de anomalia da componente zonal da velocidade do vento e CPUE da sardinha-verdadeira na área Q2, no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.

Em relação à componente meridional, as regiões Q1 (Figuras 4.20) e Q2 (Figuras 4.22) se comportaram aproximadamente igual. As anomalias positivas predominaram por toda a série, com valores máximos para os períodos de 1989/1990 e 2004/2005. Apenas nos anos de 1991/1992 e 1997/1998, as anomalias negativas foram mais expressivas. Esses períodos coincidem com eventos de El Niño para as anomalias negativas e com eventos La Niña para anomalias positivas.

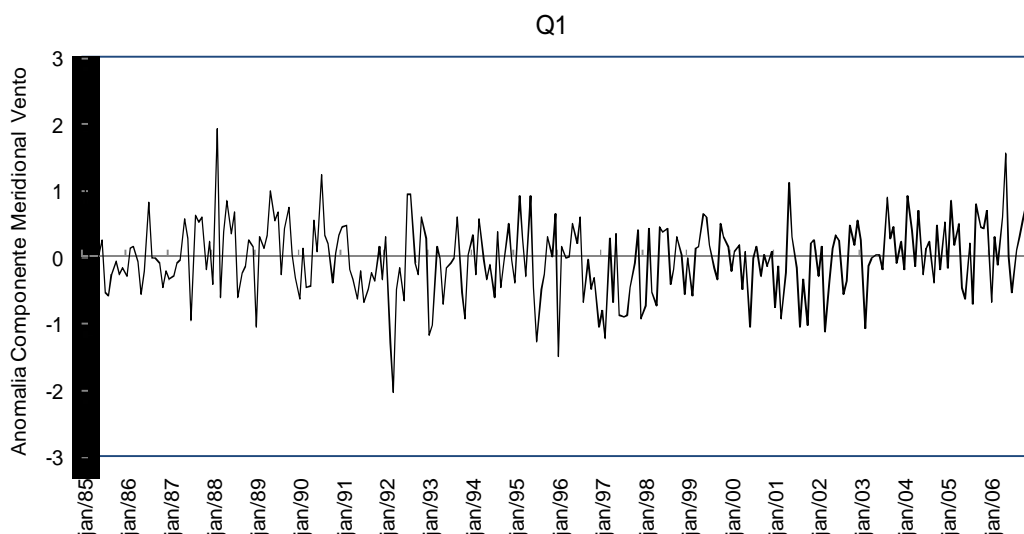


Figura 4.20 - Anomalia mensal normalizada da componente meridional (v) da velocidade do vento na região Q1 para o período de 1985 a 2006.

Valores positivos na anomalia da componente meridional do vento na área Q1 indicam aumento na CPUE da sardinha-verdadeira no Estado de Santa Catarina (Q1). Visualmente parece apresentarem uma defasagem de 6 meses aproximadamente entre a variação da componente meridional do vento e a resposta na CPUE, isso pode ser visualizado na Figura 4.21 para os anos de 2001, 2004 e 2006, por exemplo.

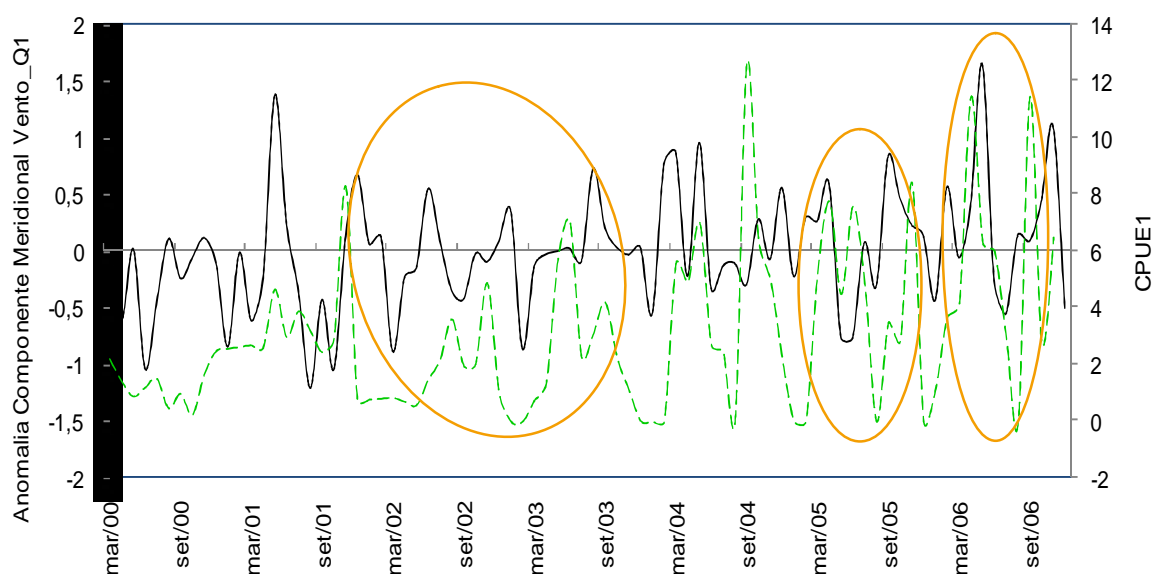


Figura 4.21 – Série temporal de anomalia da componente meridional da velocidade do vento e CPUE da sardinha-verdadeira na área Q1, no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.

Os valores mínimos negativos foram observados em março e fevereiro de 1992 para ambas as regiões. As anomalias positivas tiveram valores extremos em maio de 2006 e fevereiro de 1988 para a área Q1, e em fevereiro de 1988 e janeiro de 1985 para a região Q2.

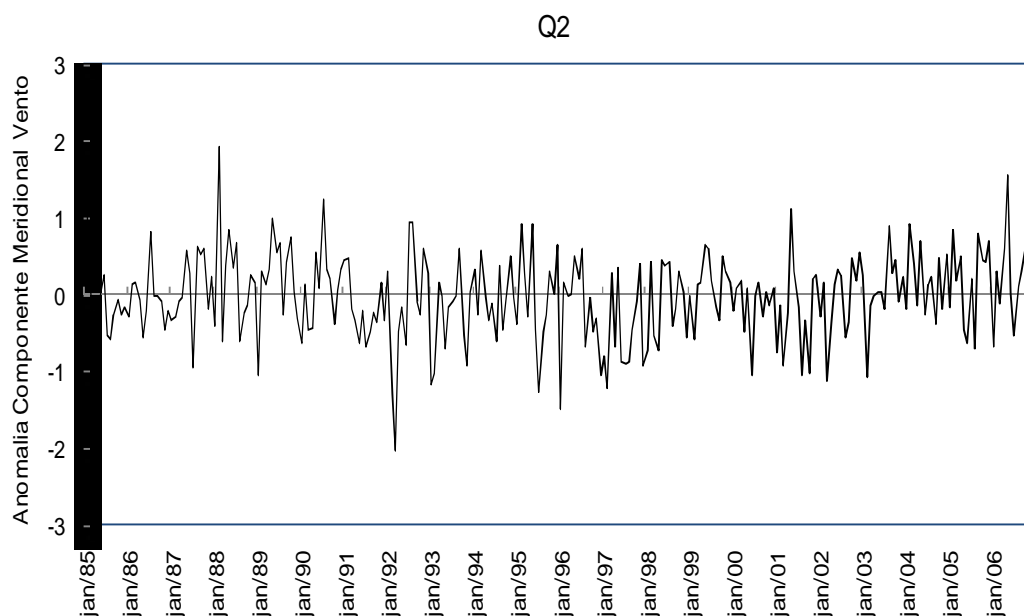


Figura 4.22 - Anomalia mensal normalizada da componente meridional (v) da velocidade do vento na região Q2 para o período de 1985 a 2006.

A anomalia da componente meridional do vento e a CPUE na área Q2 supostamente estão relacionadas, pois com os valores positivos a CPUE nessa mesma área tende a aumentar, como nos anos de 1994 e 1995, visto na Figura 4.23. Entretanto, não deve ser considerada uma relação simples e direta entre essas variáveis, pois outros fatores ambientais também influenciam a variabilidade da captura da sardinha-verdadeira na PCSE, como verificado por Sunye e Servain (1998) e Jablonski (2003).

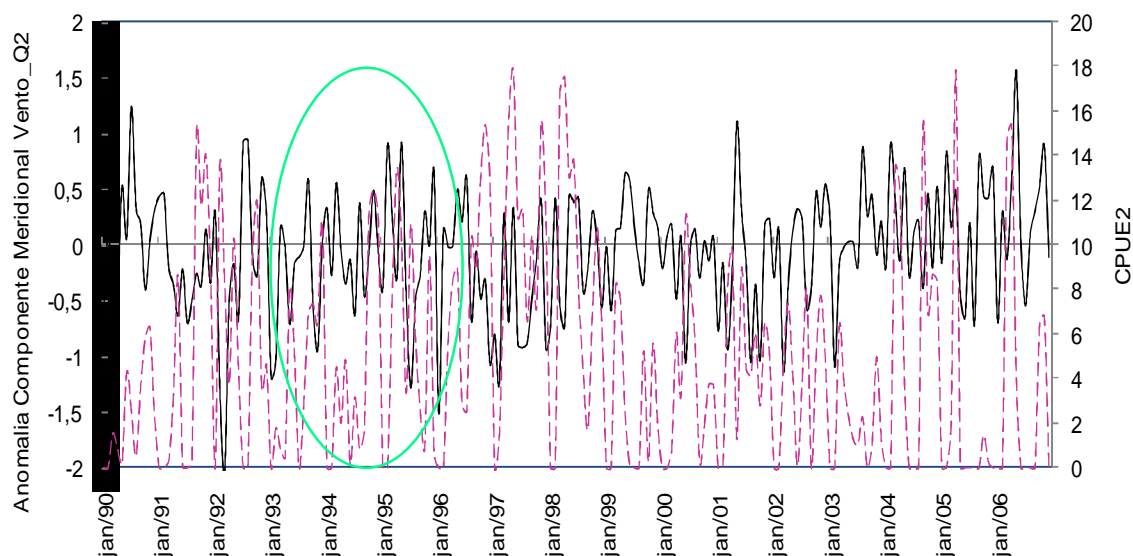


Figura 4.23 – Séries temporais de anomalia da componente meridional (v) da velocidade do vento e CPUE na área Q2, período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.

As periodicidades observadas nas séries para as componentes zonal e meridional e para a magnitude do vento resultante foram com dominância do ciclo anual, similares às obtidas por Soppa (2007); Wainer e Taschetto (2006).

A variabilidade do campo de ventos na PCSE, bem como sua anomalia, está relacionada com o posicionamento e a profundidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul, afetando diretamente a intensidade e a direção do vento e de sua tensão de cisalhamento sobre a PCSE. Outros fatores que influenciam os ventos nessa região podem ser exemplificados como a passagem de sistemas frontais nessa região com um centro de Baixa Pressão associado, o posicionamento da ZCIT e eventos climáticos como ENOS. Tal variação do vento, através de troca de energia cinética na interface oceano-atmosfera, em escala sazonal esta relacionada com processos de mistura turbulenta das águas marinhas e correntes sazonais (CASTRO *et al.*, 2006). Ventos intensos, como no inverno, intensificam os processos de mistura determinando estruturas verticais de densidade mais homogênea, principalmente na parte interna da PCSE.

### 4.2.3 – Anomalia Transporte de Ekman

A magnitude estimada do transporte de Ekman ao longo da série de tempo (mínimo – máximo em  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) também está de acordo com os resultados obtidos por Jablonski (2003; 2007). As Figuras 4.23 e 4.25 mostram as anomalias normalizadas do transporte de Ekman respectivamente para as áreas Q1 e Q2. Os máximos valores de anomalia positiva do transporte de Ekman foram verificados nos de fevereiro de 1992 para a área Q1 e julho de 1999 para Q2, bem como o mês de outubro de 1999 para ambas as áreas.

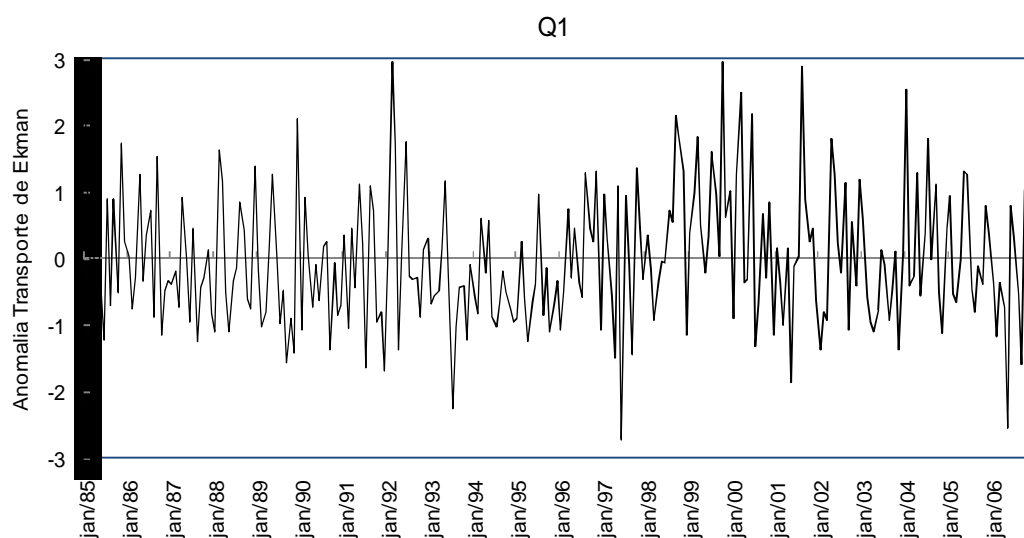


Figura 4.24 - Anomalia mensal normalizada do transporte de Ekman na região Q1 para o período de 1985 a 2006.

A Figura 4.25 indica uma relação entre o aumento da anomalia positiva do transporte de Ekman e o aumento na captura da sardinha-verdadeira na área Q1. Uma primeira análise visual mostra que esses parâmetros covariam com uma defasagem de tempo.

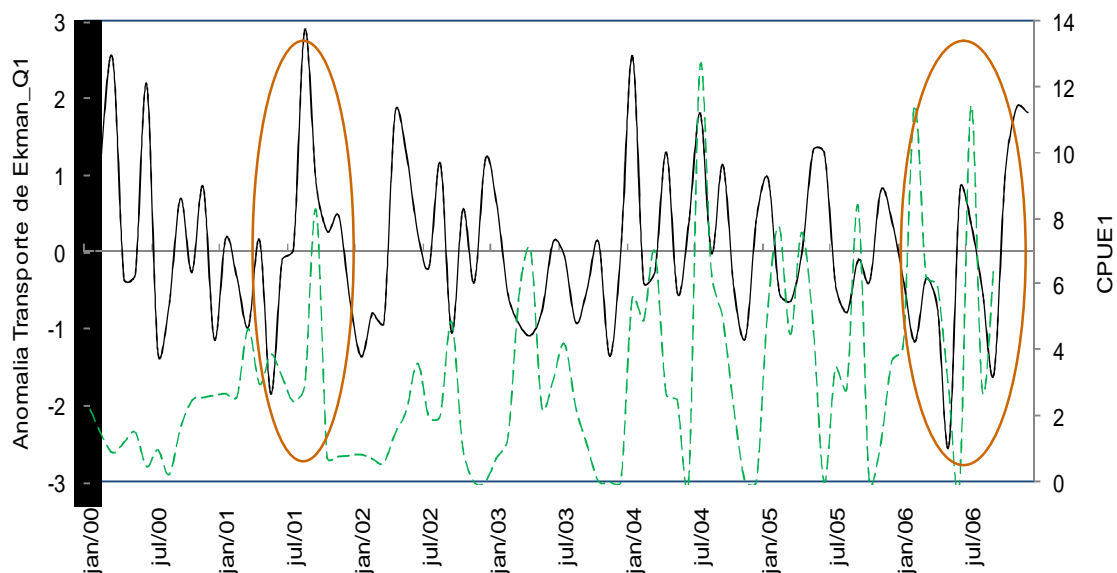


Figura 4.25 – Comparativo entre series temporais de anomalia do transporte de Ekman e CPUE na área Q1, período de janeiro de 2000 a dezembro de 2006.

As anomalias negativas do transporte de Ekman apresentaram seus menores valores em junho de 1997 e maio de 2006 para a área Q1 e maio de 2006 e junho de 1997 para a área de estudo Q2 (Figura 4.26).

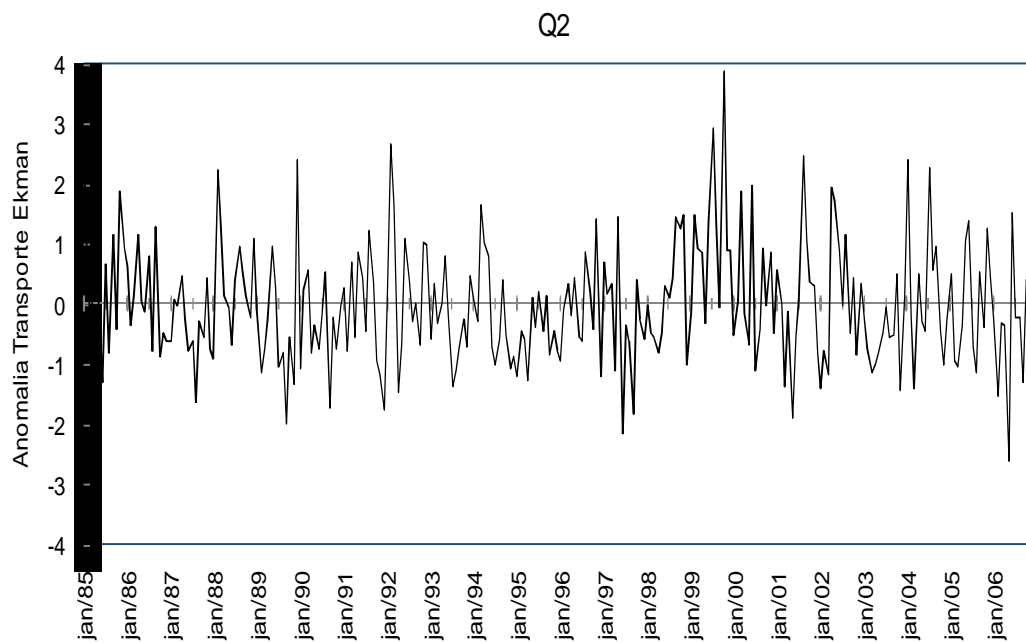


Figura 4.26 - Anomalia média mensal normalizada do transporte de Ekman na região Q2 para o período de 1985 a 2006.

A Figura 4.27 indica que a CPUE da sardinha-verdadeira na área Q2 aumentou com as anomalias positivas do transporte de Ekman na mesma área. Como verificado anteriormente para a área Q1, nessa região a anomalia negativa do transporte de Ekman está relacionada com a diminuição da captura da sardinha-verdadeira na região de estudo Q2.

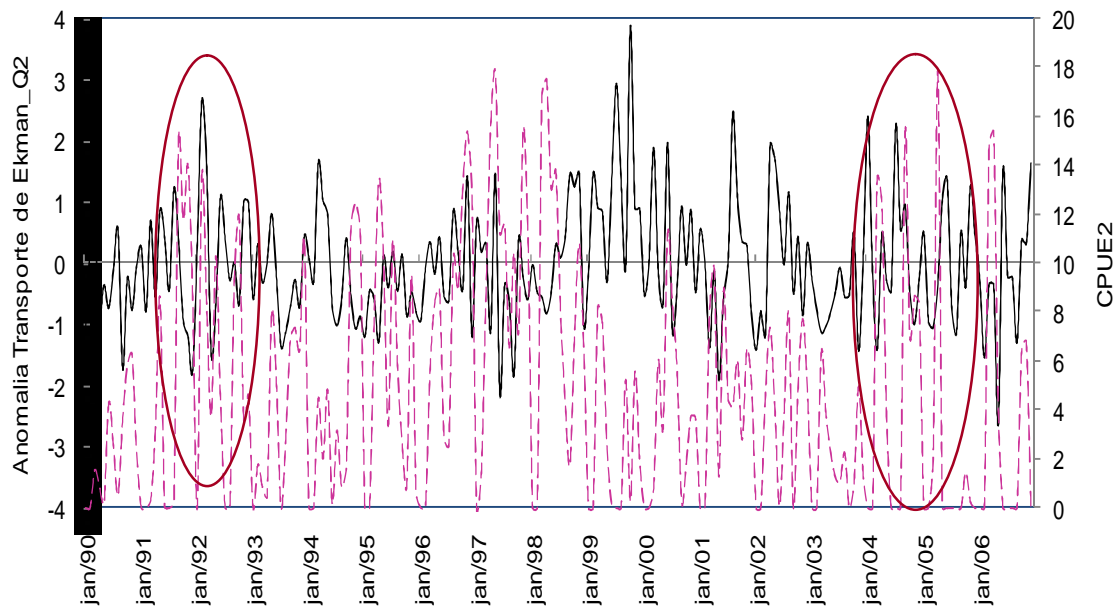


Figura 4.27 – Séries temporais de anomalia do transporte de Ekman e CPUE da sardinha-verdadeira na área Q2, período de janeiro de 1990 a dezembro de 2006.

A variabilidade da anomalia do transporte de Ekman mostrou um ciclo de 7 anos aproximadamente, podendo ser visualmente identificado nas Figuras 4.24 e 4.26.

A Tabela 4.3 resume os meses de ocorrência e os valores máximos e mínimos de anomalia normalizada para todas as áreas. Os valores máximos de ATSM ocorreram principalmente durante a época de recrutamento ao estoque adulto, com exceção da área QM2 que apresentou o valor máximo no início do período de desova da sardinha-verdadeira. Enquanto que os máximos da anomalia do transporte de Ekman foram durante a estação de desova dessa espécie.



Tabela 4.3 - Meses de ocorrência dos valores máximos e mínimos das anomalias normalizadas das variáveis investigadas nas respectivas áreas.

Anomalia/Área	Máximo				Mínimo			
	Q1	Q2	QM1	QM2	Q1	Q2	QM1	QM2
TSM	Jun/05	Mai/02	Jun/05	Out/02	Dez/92	Mar/92	Mai/88	Mar/92
<i>U</i>	Jul/93	Dez/91	-	-	Out/99	Out/99	-	-
<i>V</i>	Mai/06	Fev/88	-	-	Mar/92	Mar/92	-	-
Trans Ekman	Fev/92	Out/99	-	-	Jun/97	Mai/06	-	-

Entretanto os valores mínimos dessas anomalias foram verificados durante período de desova (ATSM na área Q1 e a anomalia da componente zonal do vento de Q1e Q2) e época de recrutamento (transporte de Ekman e ATSM na área QM1). Os resultados encontrados são de grande importância para o entendimento da variação da captura da sardinha-verdadeira, que como espécie pelágica é muito sensível a variabilidade ambiental, especialmente em época de desova e recrutamento.

#### 4.3 – Comparativo de Pesca

Comparativamente as pescarias comerciais de cerco para o Estado de São Paulo (Q2) e o Estado de Santa Catarina (Q1) apresentam comportamento semelhantes em relação à participação da pesca da sardinha-verdadeira no total dessa arte de pesca. No Estado de São Paulo a pesca dessa espécie representava mais de 80 % do total anual pescado com o cerco (Figura 4.28). Nos anos 2000 e 2005, a quantidade pescada de outras espécies totalizou de 30 % a 40 %, evidenciando o redirecionamento da espécie-alvo, na área Q2, para aumentar a captura e assim, o rendimento da frota. Espécies que antes eram consideradas descarte, hoje são aproveitadas para melhorar o rendimento da pescaria. Outras espécies como a tainha (*Mugil brasiliensis*), a corvina (*Micropogonias furnieri*) e a anchova (*Pomatomos saltatrix*) não são mais consideradas como espécies acompanhantes, pois possuem esforço direto e contribuem para o total de captura da frota de cerco.

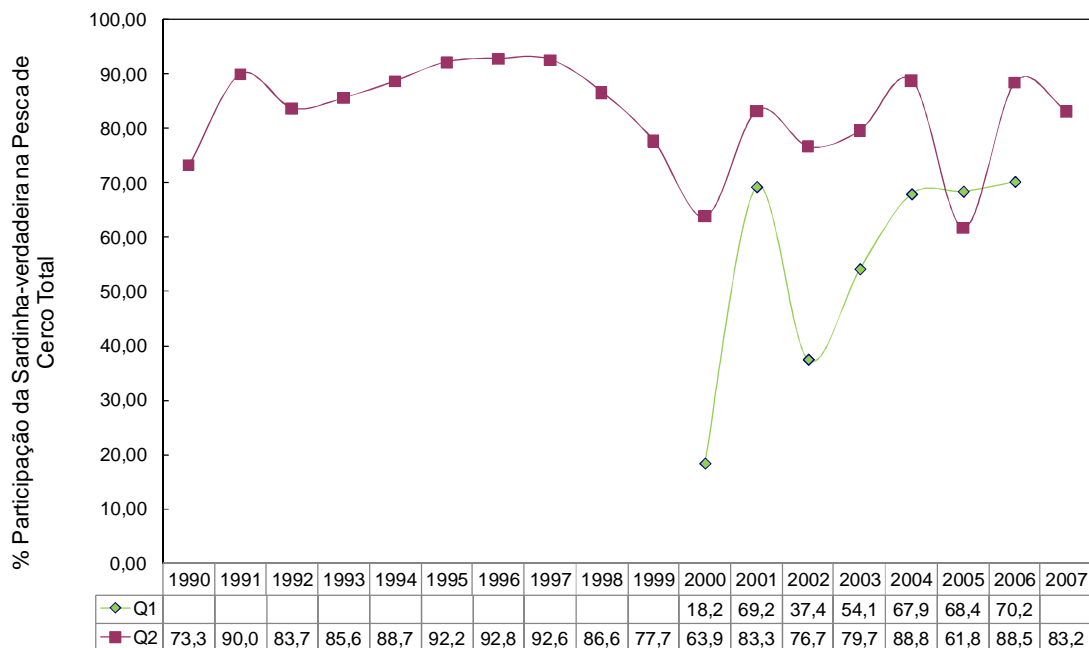


Figura 4.28 – Percentual anual de participação da pesca da sardinha-verdadeira na pesca total de cerco, para período de 1990 a 2006. Q1 se refere ao Estado de Santa Catarina e Q2 ao Estado de São Paulo.

Em Santa Catarina, a participação da pesca da sardinha-verdadeira na pesca total do Estado varia de 60 a 70 %. Entretanto, para o ano de 2002 verifica-se uma queda nessa participação, onde 62 % da captura total do cerco foram atribuídos a outras espécies, devido ao redirecionamento da frota para outras espécies-alvo.

#### 4.4 - Ondeletas e Análise Espectral

As figuras 4.29 a 4.34 são espectrogramas de potência de ondeleta, onde o eixo x representa o tempo em que a série foi amostrada e o eixo y os períodos de variabilidade. As séries foram truncadas nas extremidades por serem séries finitas, evitando possíveis erros. Os valores são significativos ao nível de significância de 5 % assumindo um espectro de ruído vermelho. Nos gráficos das análises de ondeletas, o período (meses) está representado em escala logarítmica. A barra de cores lateral representa a potência (adimensional), sendo a energia associada a um período para um determinado momento da série temporal. A linha em forma de arco representa o cone de influência e os valores acima desta linha não são considerados. Na análise espectral considerou-se um afunilamento (“*tapering*”) de 10 % e a opção “*pad length to power of 2*”. Também foi

utilizada uma janela de 5 pontos. Esses resultados podem ser observados nas figuras 4.31 a 4.34 e na tabela 4.4.

Com os resultados mostrados nas figuras 4.29 a 4.37, nota-se uma distribuição não homogênea da energia ao longo do tempo para todos os parâmetros analisados, caracterizando o aspecto não estacionário dos processos físicos em questão aqui.

#### 4.4.1 – ATSM

A análise espectral e de ondeleta da ATSM detectaram periodicidades associadas aos picos de maior energia centrados aproximadamente em 3,5 anos para todas as áreas. Além desses picos, outros dois foram detectados centrados em 1 ano e na faixa de 5 a 6 anos para as áreas Q1 (Figura 4.29) e QM1 (Figuras 4.30). Enquanto que na área Q2 (Figura 4.31), os outros picos de energia encontrados foram de 1 ano e 2,5 anos. Já para a área QM2 verificou-se também outro pico energético em 2,5 anos aproximadamente (Figuras 4.32 e Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Períodos em anos dos maiores picos em relação ao total de energia da série de ATSM.

Áreas	1º Pico Período (anos)	2º Pico Período (anos)	3º Pico Período (anos)
<b>Q1</b>	3,5	5,0-6,0	1,0
<b>QM1</b>	3,5	5,0-6,0	1,0
<b>Q2</b>	3,5	2,5	1,0
<b>QM2</b>	3,5	2,5	-

Comportamentos semelhantes, com duas bandas de oscilações com amplitudes significativas também foram observadas nas regiões de estudos (Figuras 4.29, 4.30, 4.31 e 4.32). A primeira aparece associada a períodos entre 3,5 e 5-6 anos aproximadamente, com picos localizados com alta energia nos anos 1996±1997, 1998, 1999±2000, 2002 aproximadamente.

Muitos dos núcleos encontrados para a banda de 3,5 a 5-6 anos coincidem com eventos ENOS+1, predominantemente El Niño+1, principalmente dos anos de 1990-1991, 1992-1993, 1994-1995, 1996-1998 e 2002. Essa banda espectral está relacionada com

processos oceanográficos de grande escala, como por exemplo, variações no balanço geostrófico e de calor, além do acoplamento dinâmico na interface oceano-atmosfera. Também estão relacionados com eventos climáticos como episódios do ENOS e a Oscilação Antártica. Enquanto que a banda centrada em 1 ano, com núcleos de energia trimestrais para o período de 2000 a 2005. Essa banda está relacionada com fenômenos de mesoescala, como a formação de vórtices e meandros provenientes da Corrente do Brasil e a intrusão na PCSE de água fria proveniente da Corrente Costeira da Patagônia.

O ciclo anual verificado na PCSE é demonstrado por diversos autores como: Podestá et al. (1991); Podestá (1997). Os ciclos interanuais e interdecadais são descritos por Provost et al. (1992); Campos et al. (1999); Lentini et al. (2001). Os picos de energia observados estão consistentes com Venegas et al. (1997); Lentini et al. (2001); Souza et al. (2006a); Souza et al. (2007).

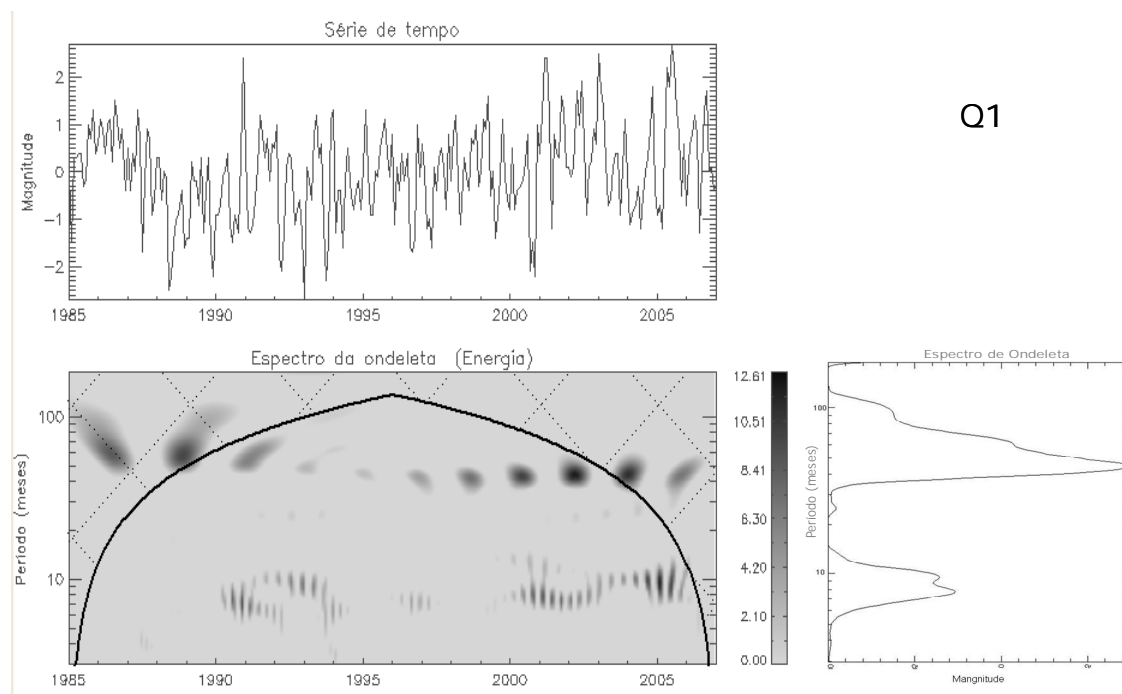


Figura 4.29 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q1, para o período de 1985 a 2006.

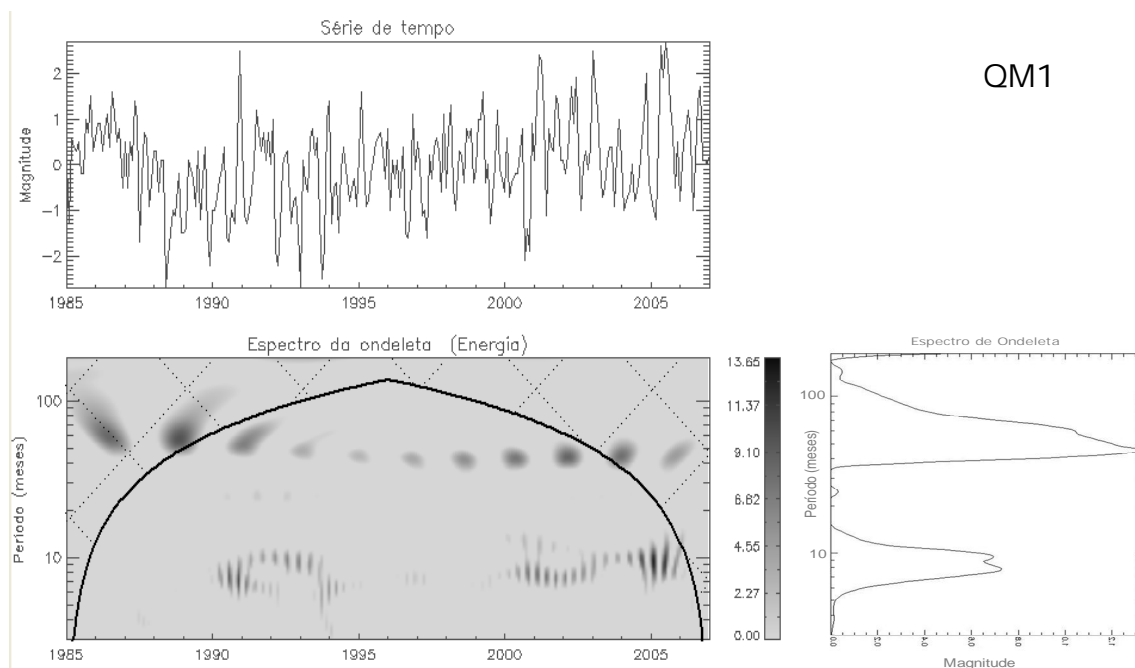


Figura 4.30 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área QM1, para o período de 1985 a 2006.

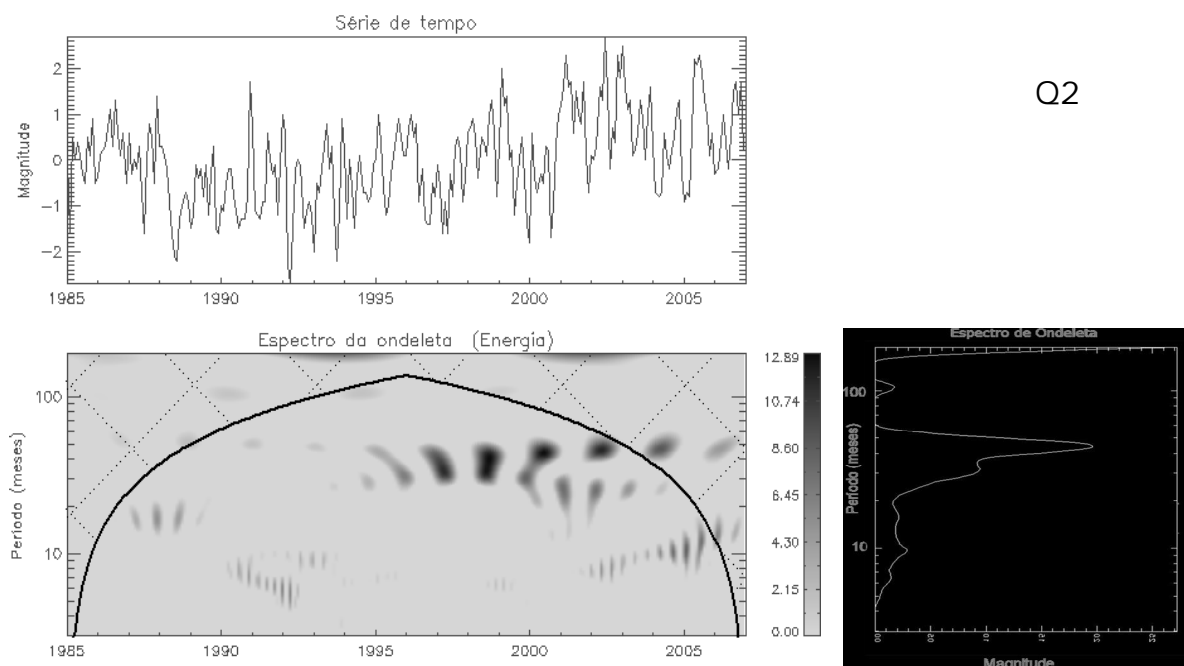


Figura 4.31 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q2 para o período de 1985 a 2006.

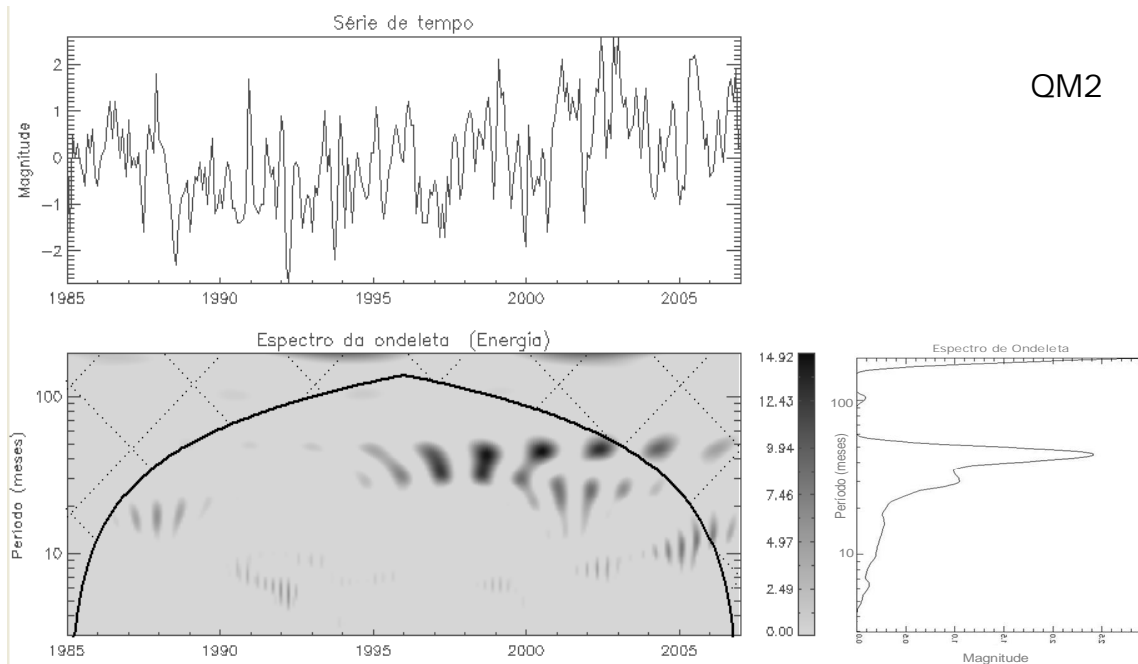


Figura 4.32 - Série temporal da anomalia normalizada ATSM (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área QM2 para o período de 1985 a 2006.

Venegas et al. (1997) estudaram a variabilidade climática interanual e interdecadal do Oceano Atlântico Sul através do acoplamento entre pressão atmosférica ao nível do mar (PNM) e TSM. Encontraram uma relação entre o deslocamento do sistema anticiclônico atmosférico e a TSM no período aproximado de 4 anos para a faixa latitudinal entre 25°S e 30°S. Também descreveram um pico de 6-7 anos associado a anomalias negativas de TSM na costa da África.

#### 4.4.2 - Componente Zonal do Vento

A variabilidade da componente zonal ( $u$ ) do vento indica duas periodicidades com oscilações de maior magnitude centradas em 2 e 7 anos (Figura 4.33 e 4.34). Para a banda espectral centrada em dois anos foram observados núcleos de maior energia nos anos de 1997-1998, 1999-2000, 2001-2002, 2002-2003. Esses períodos, como com a ATSM, parecem ser detectados durante e após o início de um evento ENOS relacionado (ano ENSO+1), mas sem predomínio de uma fase El Niño/La Niña. Está ainda relacionado com a variabilidade da posição e da profundidade da Alta Subtropical do

Atlântico Sul (ASAS) que afeta diretamente a intensidade e a direção dos ventos sobre a PCSE (CASTRO *et al.*, 2006). Para escala de 7 anos, o núcleo aparece no período de 1994-1996. Oscilações de 1992-1993 e 1999-2000 foram descartadas por estarem muito próximos ao cone de influência. Esse núcleo está relacionado com fenômenos de larga escala, como por exemplo, a Oscilação Antártica (AAO+1 ano) e transporte de calor inter-hemisférico (GITA+1 ano), verificado nas análises de ondeleta dos respectivos índices climatológicos (Figura 4.39 e 4.40). Demonstra a importância da teleconexão entre fenômenos atmosféricos e oceanográficos. Corroborar a isso, a enorme capacidade térmica dos oceanos, onde uma pequena alteração das suas características pode ter um enorme impacto na circulação atmosférica e nos climas regionais. Os núcleos de energia localizados próximos ao cone de influência foram desconsiderados.

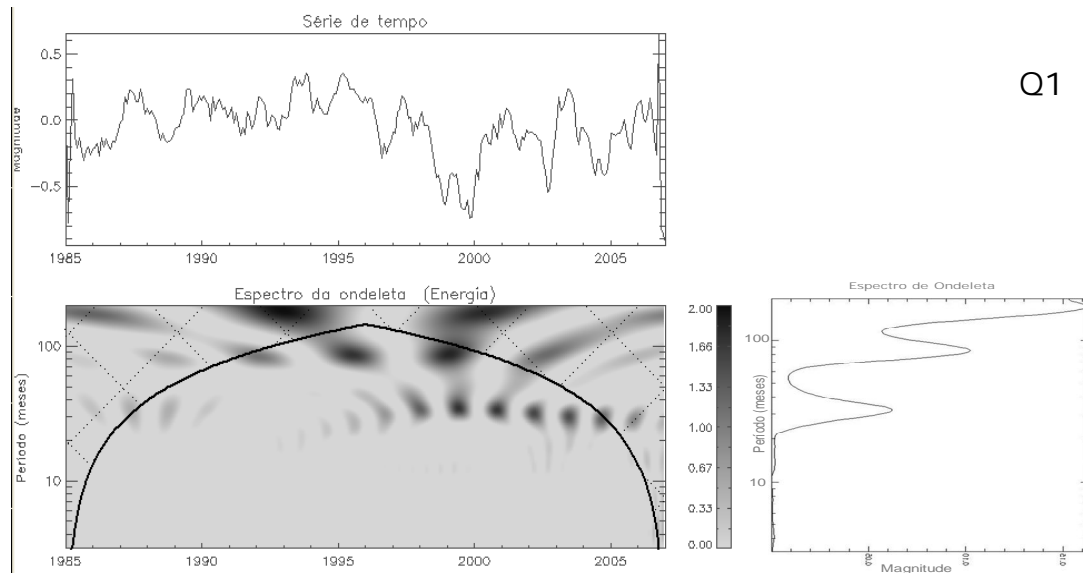


Figura 4.33 - Série temporal da anomalia normalizada componente zonal (u) do vento (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q1.

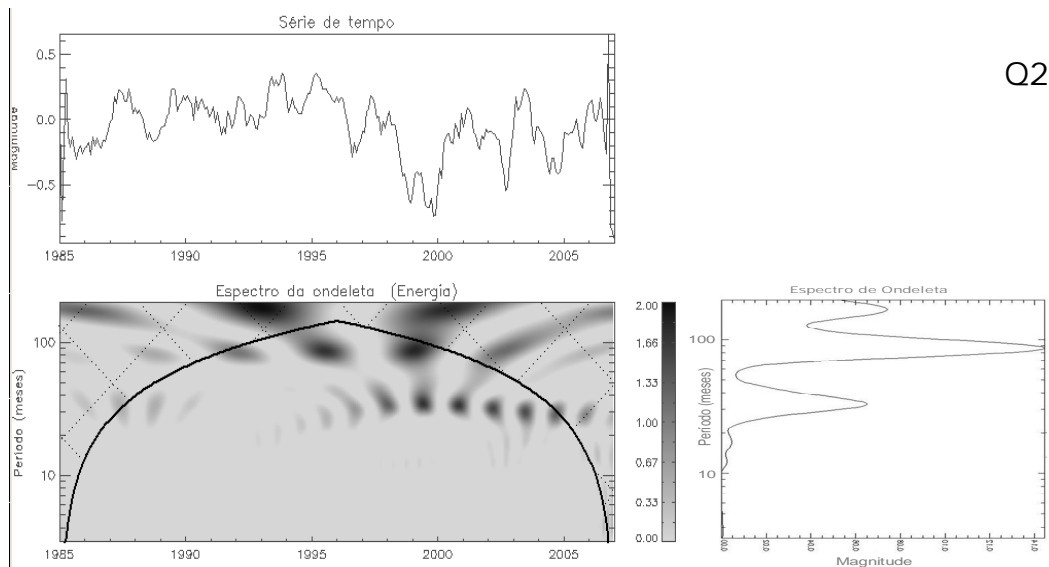


Figura 4.34 - Série temporal da anomalia normalizada componente zonal (u) do vento (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q2.

#### 4.4.3 - Componente Meridional do Vento

Os espectros de ondeletas, bem como a TRF da componente meridional (v) do vento para as áreas Q1e Q2 apresentam diversas oscilações em escalas de tempo centradas em 5 (cinco), 2 (dois) e 1,5 anos (Figura 4.35).

Na banda espectral de 5 a 6 anos, destacam-se 4 oscilações centradas nos anos de 1991-1992, 1994-1995, 1996-1997, 1998-2000. Esses períodos coincidem anos de eventos ENOS+1, especialmente anos de El Niño, com a fase positiva do GITA e com a variabilidade da Oscilação Antártica. Essas teleconexões são feitas através das células de Walker e alteram dinamicamente os ventos de superfície (PEZZI e CAVALCANTI, 2001). Estão dentre outros aspectos, relacionados com outros fenômenos de larga escala, como a variabilidade da ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul) e do balanço geostrófico, além de processos do acoplamento do sistema oceano-atmosfera, como a Oscilação Semi-Anual (OSA) e o ciclo anual da PNM (Pressão Atmosférica ao Nível do Mar). Já as bandas energéticas de 2 e 1,5 anos se relacionam com fenômenos de mesoescala, como variabilidade da Corrente do Brasil e formação de meandros e vórtices.



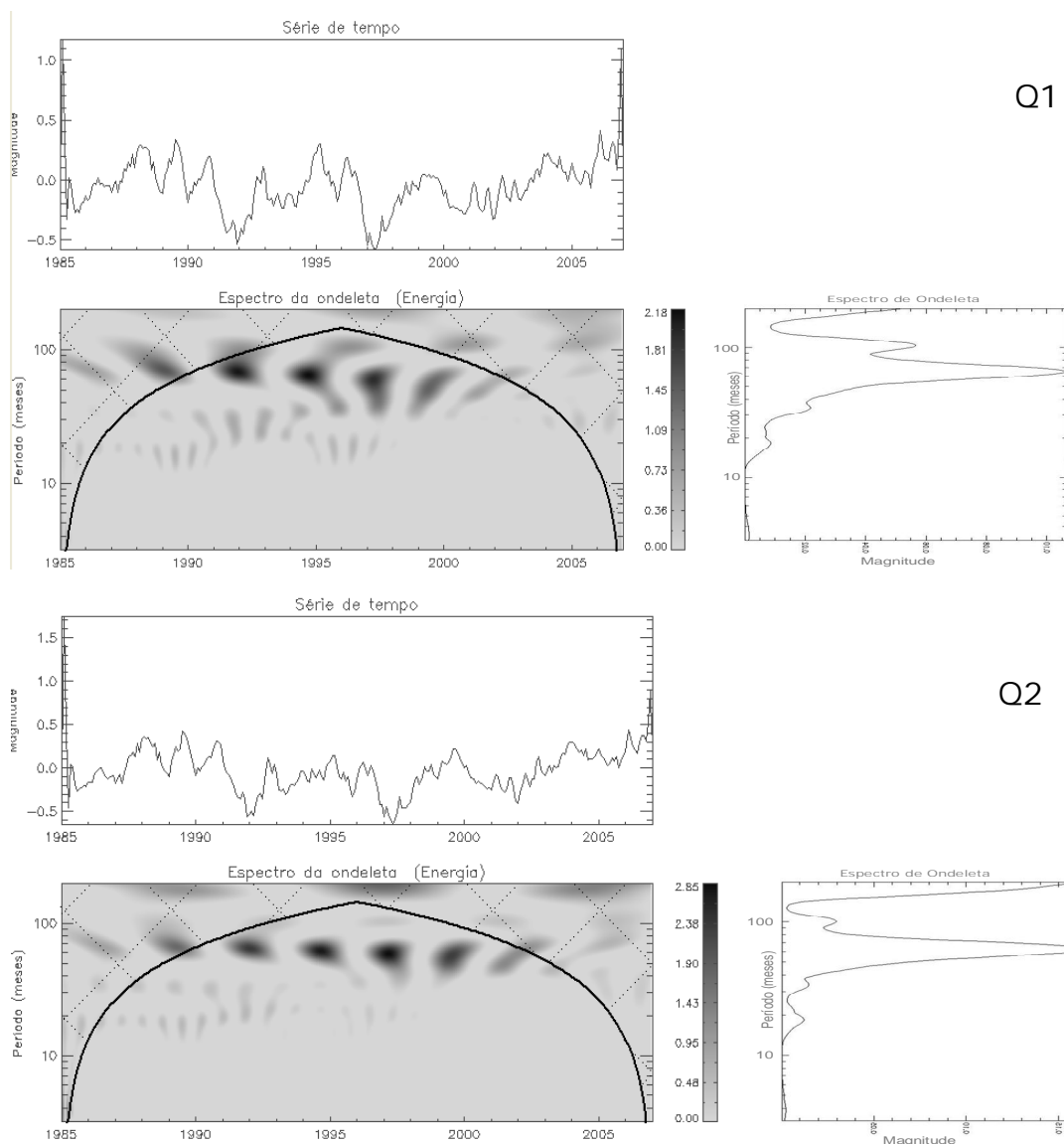


Figura 4.35 - Série temporal da anomalia normalizada componente meridional ( $v$ ) do vento (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) das áreas Q1 e Q2.

#### 4.4.4 - Transporte de Ekman

A análise de espectral do transporte de Ekman das áreas de estudos detectou periodicidades com picos de maior energia centrados em 7 (sete), 3,5 (três e meio) e 2 (dois) anos. Oscilações de 7 anos são verificadas no período de 1994-1996. Outros períodos observados (1991-1993 e 1998-2000) para esse mesmo pico de 7 anos serão descartados por estarem muito próximos ao cone de influência. O segundo sinal de maior

energia foi de 3,5 anos com núcleos associadas ao longo de praticamente toda a série, ou seja, de 1990 a 1999 com um núcleo por ano aproximadamente. Já para o período de 2 anos, as maiores amplitudes ocorreram para o ano de 1996 a 2003, também com um núcleo por ano, aproximadamente (Figuras 4.36 e 4.37). A partir de 1996, quando se inicia a segunda metade da série, nota-se um ganho de potência dessas amplitudes. Esse parâmetro está relacionado com a variação do campo de ventos. Assim como mostrado para as componentes zonal e meridional do vento, variabilidade do transporte de Ekman, está relacionada com anos de eventos ENOS+1, o GITA e com a variabilidade da Oscilação Antártica, que através de teleconexões alteram dinamicamente os ventos de superfície.

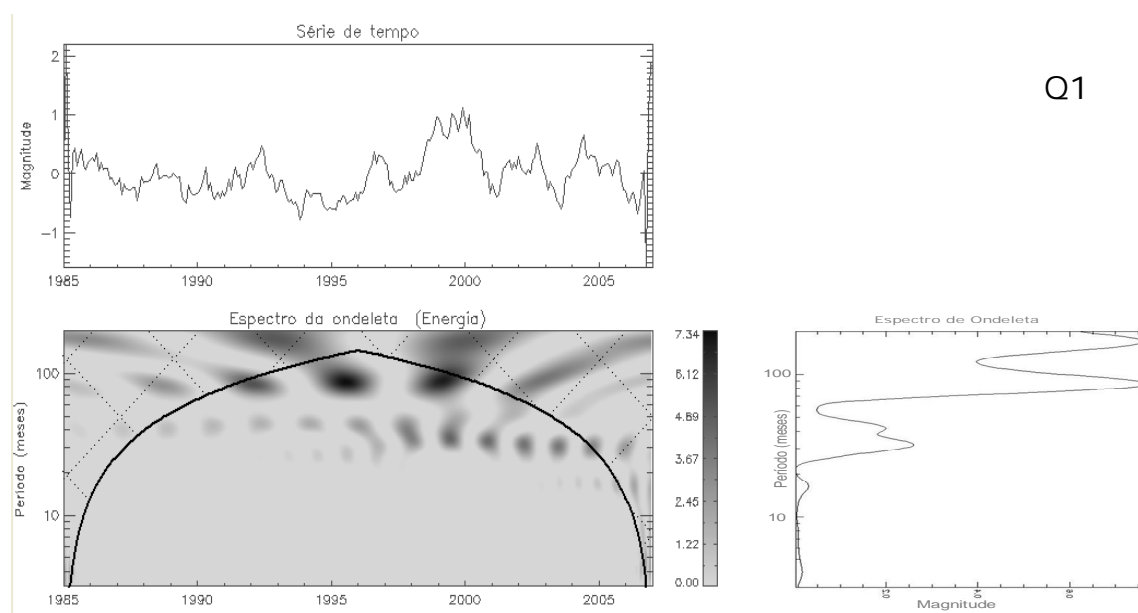


Figura 4.36 - Série temporal da anomalia normalizada transporte de Ekman (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) das áreas Q1.

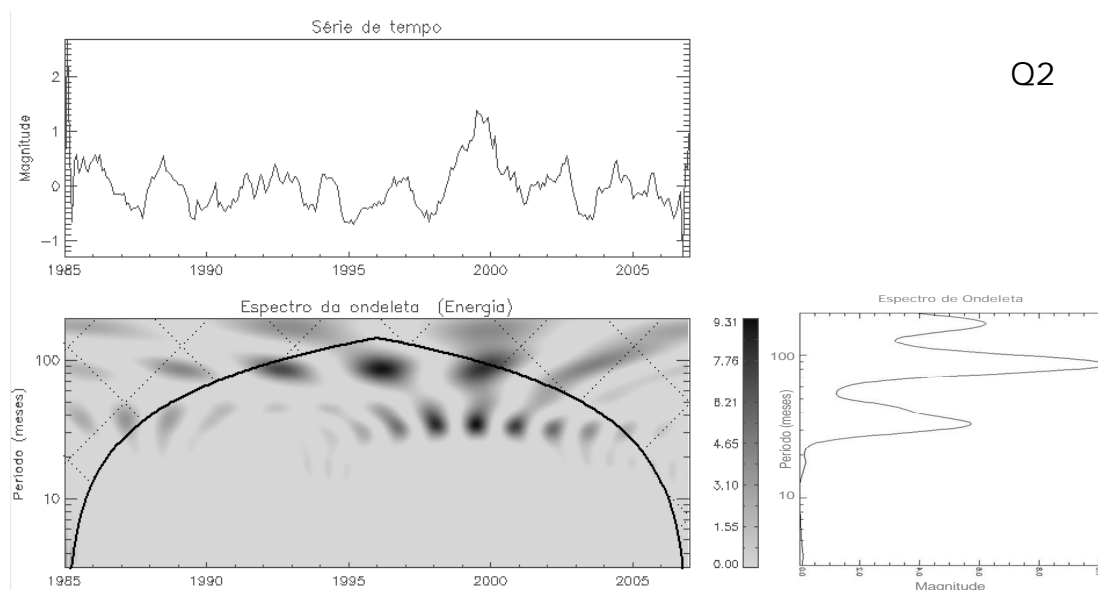


Figura 4.37 - Série temporal da anomalia normalizada transporte de Ekman (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita) da área Q2.

Ventos de quadrante sul (norte), tendem a acumular (retirar) água na linha de costa, provocando o transporte de Ekman na direção da costa (mar aberto). De um modo geral, os ventos de quadrante sul, estão associados com a variabilidade de fenômenos de mesoescala como a da passagem de sistemas meteorológicos pela região, bem como outros processos da interface oceano-atmosfera, enquanto os ventos de norte se referem a fenômenos de larga escala, como a variabilidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

#### 4.4.5 - Índices Climatológicos

A análise espectral da TRF mostrou picos de energia em 5, 3,5 e 1,5 anos. Como visto na TRF, no espectro de ondeleta do índice MEI (Figura 4.38) destaca uma banda de oscilações centrada em 5 anos no período de 1991-1993, 1994-1995, 1997-1998 e 1999-2001. O segundo pico de energia de 3,5 anos são observados em 1988-1989, 1990-1991, 1994-1995, 1995-1996, 1997-1998, 1998-2000 e 2000-2002. Os principais eventos do ENOS, El Niño (La Niña), coincidem com a fase positiva (negativa) do GITA.

Quanto ao Índice da Oscilação Antártica (AAO), destacam-se duas bandas de oscilações com maiores amplitudes. A primeira banda está associada ao período de 5 anos para os anos 1989-1990, 1991-1992, 1993-1994, 1996-1997 e 1998-2000. Nesse último período houve uma perda de potência (Figura 4.39). A segunda banda centrada em 1,5 anos, apresentou dois comportamentos distintos, com um grupo do ano de 1986 a 1995 com um núcleo de energia por ano e outro grupo de 1995-2003 com dois núcleos por ano. A partir de 1996 verificou-se um ganho de potência para a banda centrada em 1,5 anos.

Para o GITA, o espectro de ondeleta e o espectro global de ondeleta, destacam-se quatro bandas de oscilações com maiores amplitudes (Figura 4.40). A primeira banda está associada ao período de 7 anos com duas oscilações em 1993-1995 e 1997-1998. A segunda banda de maior amplitude é centrada em 3,5 anos com núcleos de oscilações nos anos de 1989-1990, 1991-1992, 1994-1995 e 1996-1997, 1998-1999, 2000-2001, sendo os dois últimos de menor energia. O terceiro pico centrado em 2,5 anos, destaca-se com oscilações nos anos 1988-1989, 1990, 1991, 1992-1993, 1993-1994, 1994-1995, 1995-1996 e 2001-2002. Já, o quarto pico energético de 1,5 anos apresentou um núcleo por ano de 1994 a 1999. A análise da TRF dessa série indicou os mesmos picos de energia.

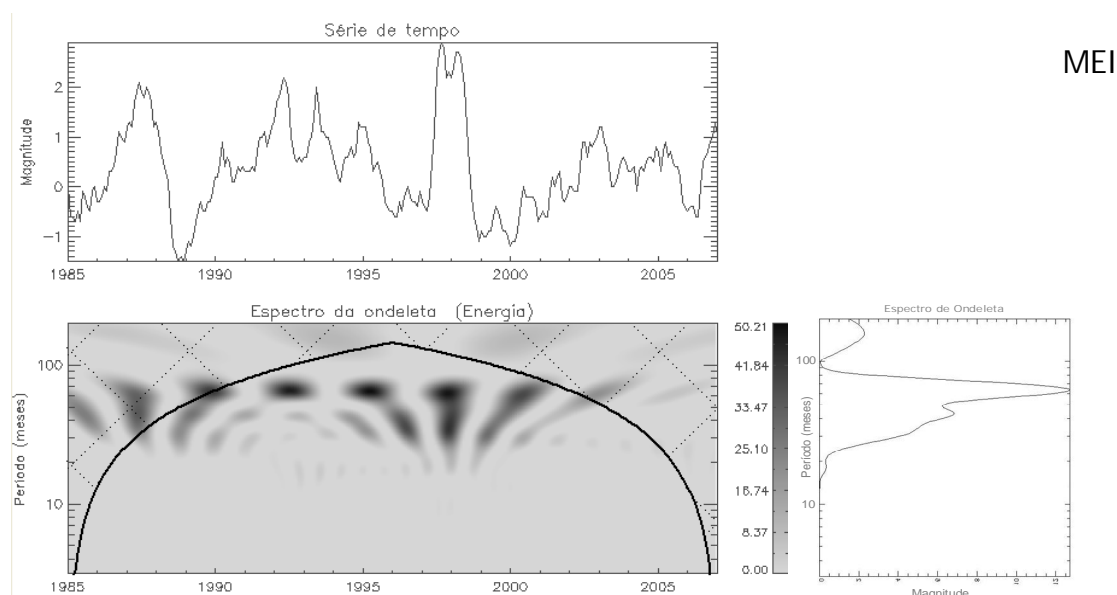


Figura 4.38 - Série temporal dos índices climatológicos MEI (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita).

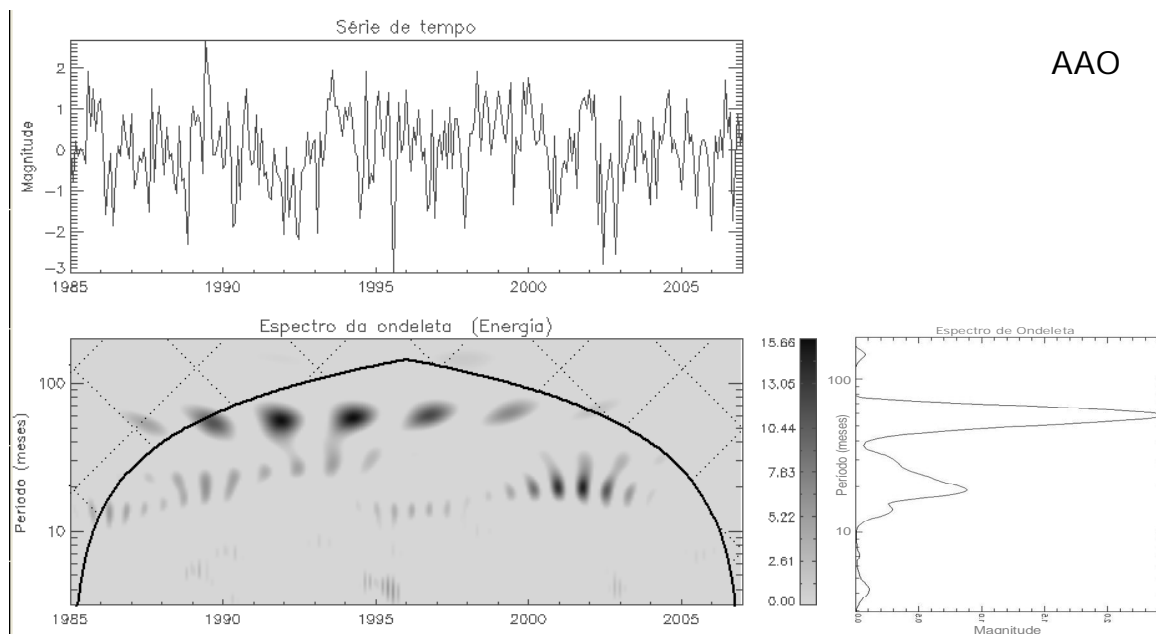


Figura 4.39 - Série temporal dos índices climatológicos AAO (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita).

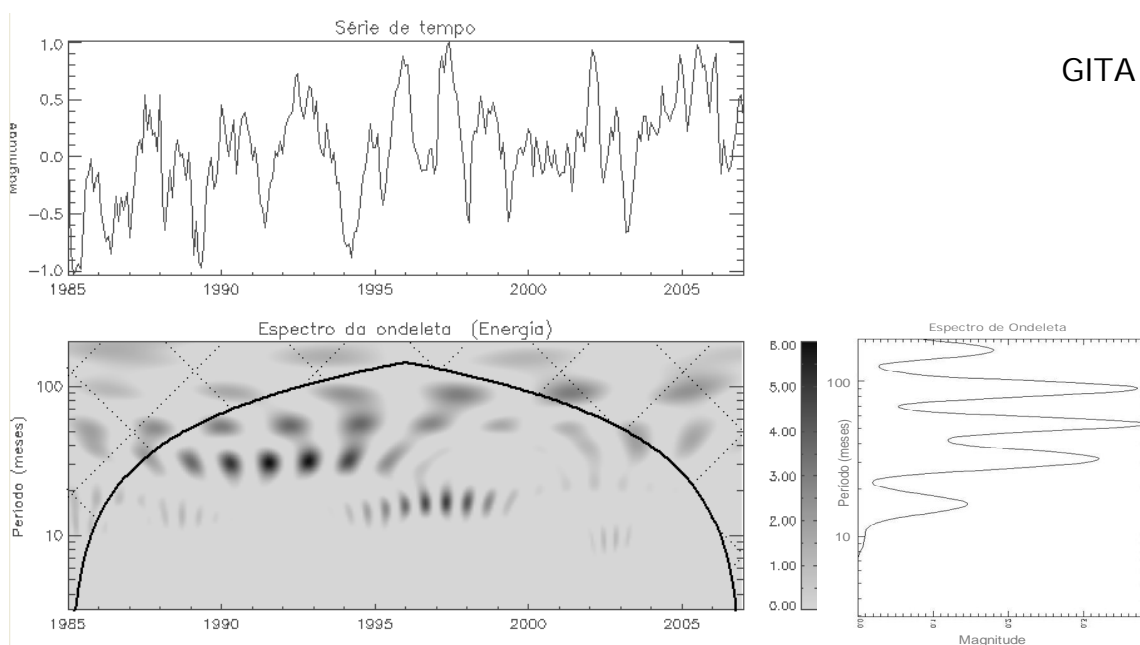


Figura 4.40 - Série temporal dos índices climatológicos GITA (acima a direita). Espectro de potência (abaixo a esquerda) da TO e espectro da ondeleta global (abaixo a direita).

As ondeletas (TO) dos índices climatológicos mostraram núcleos de energia para as maiores amplitudes em diversos períodos coincidentes indicando condições climáticas

simultâneas e podendo provocar efeitos combinados sobre a variabilidade das variáveis estudadas.

Diversos estudos mostram que o padrão climático sobre o oceano Atlântico Sul ao largo da região sudeste brasileira, está associado à ação de múltiplos sistemas meteorológicos, como por exemplo: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Gradiente Interhemisférico (GITA), Sistemas Frontais (SFs), de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), ENOS (El Niño-Oscilação Sul) e Ciclogêneses (NOBRE, 1988; MARTON, 2000). Esses sistemas são responsáveis pelos modos de variabilidade da atmosfera através de várias escalas temporais (KOUSKY, 1988; LAU e CHAN, 1988). Reboita (2004), verificou que o clima desta região também é afetado pelas Oscilação de Madden e Julian (OMJ).

#### **4.5 Correlação Cruzada e Ondeleta Cruzada**

As séries de tempo dos índices MEI, AAO e GITA foram correlacionadas com as séries temporais de anomalia normalizada das variáveis para verificar uma possível relação entre as anomalias das variáveis estudadas para as áreas Q1, QM1, Q2, QM2 e fenômenos climáticos remotos em questão. Também foi feita a correlação cruzada entre as próprias variáveis estudadas nas quatro áreas de estudo. Os resultados foram resumidos nas Tabelas 4.5 a 4.8. Apenas os resultados estatisticamente significativos ao nível de 5 % de significância estão sendo mostrados.

As correlações negativas indicam que as variáveis são inversamente proporcionais, e uma defasagem temporal (*lag*) igual a zero indica que não há defasagem de tempo entre um sinal e outro. Outro método utilizado foi a análise de ondeletas cruzadas, para investigar a dependência de dois sinais, através das características espectrais dos sinais em função do tempo. Isso visa entender o grau de relação entre a variabilidade de dois campos e a determinar as escalas de tempo onde esta relação acontece. Foram verificados períodos no espaço frequência/tempo onde as séries possuem alta energia em comum.

A análise de coerência de ondeleta permite analisar como as séries covariam, mas não necessariamente possuem alta energia. Pelo que se conhece da literatura, esse trabalho apresenta, análises inéditas de ondeletas cruzadas e a coerência dos parâmetros

climáticos estudados em relação com a pesca da sardinha ou entre si, considerando apenas as séries que apresentaram correlação cruzada significativa entre elas. Para o estudo de ondeletas cruzadas foram usadas as séries originais das variáveis sem utilização de qualquer filtro nos dados, pois a ondeleta cruzada pode ser interpretada como um filtro passa-banda.

Quando se interpreta ângulos pode-se pensar que as oscilações em fase ou fora de fase são necessariamente para indicar a interdependência entre duas variáveis, sendo representado através dos vetores apontando para direita (fase) e esquerda (fora de fase). Entretanto, fisicamente pode ocorrer um retardo (*lag*) no tempo de resposta; o método aqui utilizado pode capturar e representar os vetores de fase como tempo de resposta de uma interação física entre duas variáveis, indicando como essa covariabilidade se comporta (BARBOSA, 2007). A relação de uma variável dominante em determinado período poderá também ser discutida através da fase; determinando quantitativamente qual delas apresenta maior dominância na interação para períodos definidos.

#### **4.5.1 – Variabilidade Climática Marinha**

##### **4.5.1.1 - Anomalia Normalizada da TSM**

A Tabela 4.5 mostra a correlação com a defasagem temporal (*lag*) entre as séries de ATSM e os índices climatológicos e as próprias séries de ATSM. Apenas com o índice MEI foram obtidos resultados significativos considerando todas as áreas. O índice GITA apenas apresentou correlação significativa com a ATSM das áreas Q2 e QM2. O índice AAO derivou correlações extremamente baixas.

O maior coeficiente de correlação (0,30) com os índices climatológicos foi obtido com o MEI para a área Q2 com um atraso de tempo de 24 (2) meses (anos). Significa que 24 (2) meses (anos) após a ocorrência do ENOS (El Niño e La Niña) no Oceano Pacífico Tropical há um aumento na ATSM na PCSE. As demais áreas também apresentaram a mesma defasagem temporal em relação a esses eventos. A correlação obtida para o GITA foi de 0,2 para as áreas Q2 e QM2 e uma defasagem temporal de 10 meses. A correlação cruzada entre a ATSM das diversas áreas consideradas, sobretudo, mostrou que não há defasagem de tempo entre essas assinaturas, com coeficiente de correlação

1. Existem, entretanto, outros coeficientes de correlação significativos para 1 mês (0,5-0,6) e 7 meses (0,3-0,32) de defasagem.

Tabela 4.5 - Maior coeficiente de correlação entre os índices climatológicos e as séries de ATSM e a respectiva defasagem de tempo (meses).

	<b>MEI</b>	<b>GITA</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>
Q1	-0,23	-	-	-
Defasagem	24			
QM1	-0,21	-	1 , 0,5 , 0,3	0,8 , 0,5 , 0,3
Defasagem	24 - 25		0 , 1 , 7	0 , 1 , 7
Q2	-0,30	0,19	0,8 , 0,5 , -0,3	-
Defasagem	24	10	0 , 1 , 7	
QM2	-0,29	0,19	0,8 , 0,5 , 0,3	1 , 0,6 , 0,3
Defasagem	24 - 27	10	0 , 1 , 7	0 , 1 , 7

As áreas Q1/QM1 e Q2/QM2 apresentam resultados semelhantes das ondeletas cruzadas, assim apresentamos apenas resultados das áreas Q1 e Q2

Analisando a variabilidade comum do MEI e da ATSM na área de estudo Q1 (Figura D1a, apêndice D), verificamos uma banda continua centrada em 2,5 a 5 anos entre 1995 e 2001. Também visualizados diversos centros de energia de 6 a 14 meses entre os anos de 1990 e 2004. A ondeleta cruzada mostra que existe uma tendência das duas séries analisadas estarem defasadas.

Quanto à ondeleta de coerência e fase (Figura D1b, apêndice D), encontramos poucos eventos do espaço tempo-frequência que se encontram dentro do intervalo de confiança considerado, como 2,5 e 5 anos de 1995/2001 que tem ângulo de fase de  $90^\circ$ , ou seja a ATSM responde com  $\frac{1}{4}$  do período dos eventos do ENOS+1. Para o período de 4-7 meses com núcleo de energia em  $1993 \pm 1994$  apresentou ATSM avançada  $45^\circ$  do ENOS, ou, a ATSM responde em  $\frac{1}{8}$  do período do ENOS+1 (El Niño). Já para a banda de energia de 9-14 meses verificou-se centro de energia em  $1999 \pm 2001$  e defasado  $225^\circ$  do evento ENOS+1, em outras palavras, MEI responde com  $\frac{3}{8}$  do período da ATSM. A maioria dos núcleos de energia está relacionada com anos de eventos ENOS+1 (El Niño/La Niña), sugerindo sua influência sobre a variabilidade da ATSM na área Q1.

Para a área Q2, a variabilidade comum do índice MEI e da ATSM (Figura D2a, apêndice D), observa-se uma banda de alta amplitude contínua de 2,5 a 5,0 anos entre 1995 e



2001 e como na área Q1, aqui também estão em ângulo avançado de  $90^\circ$ , ou seja a ATSM responde com  $\frac{1}{4}$  do período dos eventos do ENOS+1 (Figura D2b, apêndice D).

Outros núcleos dentro do cone de influência e do nível de significância considerados também podem ser verificados na análise de ondeleta cruzada (Figura D2a, apêndice D) e coerência e fase (Figura D2b, apêndice D) como 6-12 meses nos anos de 1990-1991, 1991-1992, 1993-1994, 1997-1999, 2002-2004 (ora a ATSM avançada  $45^\circ$  do MEI, ou, a ATSM responde em  $\frac{1}{8}$  do período do ENOS+1 e ora os sinais estão em fase) e 12-14 meses de 1992-1993 e 1998-2000 (defasado  $90^\circ$  do evento ENOS+1, em outras palavras, o índice MEI responde com  $\frac{1}{4}$  do período da ATSM. O sinal da série da ATSM na área Q2 está defasado em relação ao sinal da série do MEI. Como para a área Q1, nessas áreas esses núcleos coincidem com anos de ocorrência de eventos ENOS+1 (El Niño/La Niña), sugerindo sua influência sobre a variabilidade da ATSM também na área Q2.

Considerando a variabilidade comum do GITA e da ATSM na área de estudo Q2 (Figura D3a e D3b, apêndice D), observa-se 3 núcleos de alta amplitude de centrados em 1 ano para os períodos de 1988 e 2001-2003 (avançado  $225^\circ$ ) e 1,5 anos de 1995±1996. Outros episódios são visualizados como de 6-10 meses em 1992, 1997-1998 (ângulo avançado de  $90^\circ$ , a ATSM responde com  $\frac{1}{4}$  do período do GITA) e 2004-2005, 1-4 meses de 1987-1988 e em 1999 (avançado  $45^\circ$ , a ATSM responde em  $\frac{1}{8}$  do período do GITA). Na maioria das regiões em que ocorrem altos valores de energia, os sinais estão avançados. Esses eventos estão relacionados com valores extremos do GITA.

#### **4.5.1.2 - Anomalia Normalizada da Componente Zonal e Meridional do Vento e Transporte de Ekman**

O resultado da correlação cruzada entre as séries dos índices climatológicos analisados e a componente zonal e meridional do vento indica correlação significativa para o índice MEI com o maior coeficiente de correlação obtido de 0,21 para a área Q2, ocorrendo com uma defasagem de 8 meses para a componente meridional e 3 meses para a componente zonal (Tabela 4.6). Ou seja, após 8 (3) meses da ocorrência do ENOS no Pacífico Tropical observou-se uma intensificação (diminuição) na intensidade da componente meridional (zonal) do vento na área Q2. Para a área Q1 apenas a componente meridional apresentou correlação significativa de 0,20, com um atraso de 8 meses em relação ao sinal do ENOS. Em relação ao transporte de Ekman, apenas para a

área Q2 foi obtida correlação significativa de 0,21, com um atraso de 2 meses em relação aos eventos ENOS (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Maior coeficiente de correlação entre o índice MEI e as séries de componente zonal (u) e meridional (v) vento e transporte de Ekman e as respectivas defasagens de tempo (meses).

MEI x Variáveis	Componente Zonal Vento	Componente Meridional Vento	Transporte de Ekman
<b>Q1</b>	-	-0,20	-
<b>Defasagem</b>	-	8	-
<b>Q2</b>	0,21	-0,21	-0,21
<b>Defasagem</b>	3	8	2

A análise de ondeleta cruzada mostra que as séries analisadas MEI e anomalia da componente zonal do vento (AU) na área de estudos Q2 variam em fase (Figura D4a, apêndice D). Quanto à variabilidade comum entre as séries, observa-se que são encontrados centros de energia numa faixa contínua de 2 a 4 anos entre os anos de 1994 e 2001, bem como entre 2 e 3,5 anos de  $1987 \pm 1990$ , ambos em fase (Figura D4b, apêndice D). Outros núcleos apresentaram defasagem entre a componente zonal do vento e o MEI como período centrado em 1 ano de 1996-2003, com ângulo avançado de  $90^\circ$ , ou seja, a componente zonal do vento responde com  $\frac{1}{4}$  do período de eventos ENOS. Outros períodos centrados em 5 e 6 anos apresentaram núcleo de energia para o período de 1995-1999 e 1,5 anos de 1991-1996 e 6 meses de 1992-1993.

As figuras D5a, D6a e D7a (apêndice D) mostram a ondeleta cruzada do índice MEI com a anomalia da componente meridional (AV) do vento da área Q1 e Q2 e do transporte de Ekman da área Q2, respectivamente. Percebem-se em ambas as figuras os centros de energias em escalas e períodos praticamente similares. É interessante observar que para a banda entre 2 e 6 anos a componente meridional das áreas Q1 e Q2, bem como o transporte de Ekman (AEKM2) da área Q2, onde estão às maiores amplitudes desses sinais durante praticamente todo o comprimento da série (de 1990 a 2003), mostram um padrão de  $135^\circ$  avançado com eventos ENOS, ou seja, essas variáveis respondem com um avanço de  $\frac{3}{8}$  do período dos eventos ENOS (índice MEI).

Por outro lado, a banda de energia centrada em 1 ano, os sinais de AV e MEI estão completamente em fase oposta. Enquanto a variabilidade entre 1,5 e 2 anos ocorre em fase. Considerando o transporte de Ekman, o centro de energia de 1 ano, ora apresenta

defasagem total (1993-1995 e 1997-1998), ora totalmente em fase (1992-1993) e ora com um ângulo de avanço de  $90^\circ$  (1999-2002).

Estas características similares ficam evidentes quando se verificam as ondeletas coerência destas variáveis para o mesmo período, onde se encontra praticamente o mesmo padrão de covariabilidade. A figura D5b, D6b e D7b (apêndice D) confirma a covariabilidade de baixa frequência na energia do MEI e as anomalias da componente meridional da área Q1 e Q2 e do transporte de Ekman da área Q2.

#### 4.5.1.3 - Índices Climatológicos

A análise dos coeficientes de correlação entre os índices climatológicos MEI, AAO e GITA mostrou uma maior correlação de 0,21 (positiva para GITA e negativa para AAO) com defasagem aproximada de 1,5 anos (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Maior coeficiente de correlação entre as séries dos índices climatológicos MEI, AAO e GITA e a respectiva defasagem de tempo (meses).

	MEI
AAO	-0,21
Defasagem (anos)	1,5
GITA (Gradiente)	0,21
Defasagem (anos)	1,5

A análise de ondeleta cruzada mostra que, predominantemente, as séries analisadas AAO e MEI apresentam defasagem entre si (Figura D8a, apêndice D). Considerando a variabilidade comum entre as séries, observam-se núcleos de energia de 3,0 a 5 anos entre 1989 e 2000 com defasagem de  $225^\circ$ , ou seja, a Oscilação Antártica responde com  $\frac{3}{8}$  do período de eventos ENOS. Um centro de energia de 2,5 anos pode ser observado de 1992-2003, onde estão completamente em fase opostas. Enquanto que o período de 1 a 1,5 anos apresentou um núcleo do ano de 1987-2000, ora completamente oposto, ora com avanço de  $90^\circ$ , não apresentando padrão predominante. A ondeleta coerência (Figura D8b, apêndice D) destes índices confirma a covariabilidade de energia no período de 5 anos da Oscilação Antártica e os eventos ENOS (El Niño e La Niña).

A variabilidade comum (Figura D9a, apêndice D) entre as séries dos índices MEI e GITA, pode ser observada na faixa de 4 a 5 anos de 1993/1997, onde o GITA está defasado de 45° do MEI, ou seja, o Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico responde em 1/8 do período dos eventos ENOS. Para a banda de energia de 2 - 3,5 anos de 1987±1997, o GITA se encontra 45° avançado do MEI, ou, os eventos ENOS respondem em 1/8 do período do Gradiente Inter-Hemisférico (GITA). Enquanto que o centro de energia centrado em 1,5 anos, essas variáveis estão em fase completamente opostas. Como para os índices AAO e MEI, a ondeleta coerência (Figura D9b, apêndice D) confirma a covariabilidade de energia dos eventos ENOS e o GITA.

#### **4.5.2 Variabilidade Climática Marinha com Respeito ao CPUE (Captura por Unidade de Esforço)**

##### **4.5.2.1 CPUE versus Índices Climatológicos**

A análise de correlação cruzada (Tabela 4.8) para a série de CPUE da área Q1 (CPUE1) aponta uma correlação de 0,31 e 0,26 para o índice GITA e defasagem, respectivamente, de 2 e 8 meses. Enquanto que, para o mesmo índice GITA e CPUE da área Q2, observou-se uma correlação de -0,20 e um atraso de 8 meses. Considerando o índice MEI, apenas a CPUE da área Q2 (CPUE2) apresentou correlação significativa de -0,25 e -0,22 e um atraso de 1 e 22 (1,8) meses (anos), respectivamente. Para o índice AAO, apenas a CPUE2 apresentou correlação significativa de -0,25 e defasagem de tempo de 18 (1,5) meses (anos). Desta forma, a CPUE2, que possui uma área localizada na parte externa da PCSE, está influenciada pelos eventos relacionados com os índices da Oscilação Antártica (AAO), do Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico (GITA) e dos eventos ENOS (MEI). Por outro lado, a CPUE1, região totalmente costeira, mostrou-se mais correlacionada com o GITA.

Tabela 4.8 - Maior coeficiente de correlação entre os índices climatológicos e as séries de CPUE e a respectiva defasagem de tempo (meses).

	CPUE / Área 1	CPUE / Área 2
<b>MEI</b>	-	-0,25 , -0,22 1 , 22
<b>Defasagem</b>		
<b>AAO</b>	-	-0,24 17
<b>Defasagem</b>		
<b>GITA</b>	0,31 , 0,26 -2 , 8	-0,20 8
<b>Defasagem</b>		

A análise de ondeleta cruzada (Figura D10a, apêndice D) entre o índice GITA e CPUE na área Q1 (CPUE1) mostrou a variabilidade comum entre as séries, centrado em 1 ano para o período de 1991±1993 com defasagem de 45°, ou seja, a CPUE1 responde em  $\frac{1}{8}$  do período do GITA. Outro núcleo observado foi de 6 meses para o período de 1993±1995, com defasagem de 90°, ou a CPUE1 responde em  $\frac{1}{4}$  do período do GITA. A ondeleta de coerência (Figura D10b, apêndice D) mostrou ainda outro centro de energia centrado em 1,5 anos de 1991±1994, ou para essa faixa de energia a CPUE1 responde  $\frac{3}{8}$  do GITA. Esses picos de energia estão relacionados com valores extremos negativos do GITA, onde o fluxo predominante de calor no Oceano Atlântico é para norte. Esses períodos de maior amplitude também são relativos à época de recrutamento da sardinha-verdadeira.

Verifica-se, a partir da análise de ondeleta cruzada (Figura D11a, apêndice D) entre o índice MEI e a CPUE da área Q2 (CPUE2), que a variabilidade comum entre essas séries apresenta vários núcleos, sendo um centrado em 5 anos para o período de 1995-2001 com defasagem de 225°, ou seja, a CPUE2 responde em  $\frac{3}{8}$  do período de eventos ENOS. O segundo núcleo de 1,5 anos de 1994-1997 está em fase. A terceira banda centrada em 1 ano em 1997-1998, apresenta defasagem de 225°. Para o último pico observado, centrado em 6 meses, são mostrados núcleos durante a série em 1991-1992, 1993-1994, 1996-1997, 1997-1998 e 2003-2006, com defasagem de 255°. Predominantemente, as assinaturas dessas variáveis estão covariando com defasagem de 225°, ou a CPUE2 responde em  $\frac{3}{8}$  do período de eventos ENOS+1. A ondeleta de coerência (Figura D11b, apêndice D) confirma a fase e a covariabilidade desses sinais. Assim, os eventos ENOS+1 dominam a interação e a CPUE2 responde com  $\frac{3}{8}$  do período as variações de eventos ENOS, quer seja na fase de recrutamento ou no estoque adulto da sardinha-verdadeira.

Considerando as séries do índice AAO e a CPUE2, resultados da ondeleta cruzada (Figura D12a, apêndice D) indicam três principais núcleos de energia sendo centrados em: i- 5 anos para o período de 1996-2000 com defasagem de  $225^\circ$ ; ii- 2,5 anos para o período de 1994-2000 com fase totalmente oposta e iii- 6 meses com quatro centros de energia em 1994-1995, 1997-1998, 2002 e 2004-2005 sem predomínio de fase. A variabilidade sazonal (6 meses) está relacionada com valores extremos da Oscilação Antártica. Neste caso, como visto para o índice MEI, a Oscilação Antártica se relaciona com a fase de recrutamento da sardinha-verdadeira, principalmente considerando os valores extremos dessa variável e também com variabilidade interanual do estoque adulto dessa espécie. A ondeleta de coerência (Figura D12b, apêndice D) também nesse caso confirma a covariabilidade e a respectiva fase desses parâmetros.

Com a análise de ondeleta cruzada (Figura D13a, apêndice D) entre o índice GITA e CPUE2, verificam-se regiões do domínio período/tempo com variabilidade comum visualizadas em 5 anos para 1996-2001 com  $45^\circ$  de avanço, ou, a CPUE2 responde em  $\frac{1}{8}$  do período do GITA. Para o centro de energia de 2,5 anos, o período observado foi de 1994-2002 e defasagem de  $90^\circ$ , ou ainda, CPUE2 responde em  $\frac{1}{4}$  do período do GITA. O período de 1,5 anos mostra estar completamente em fase oposta para os anos de  $1994 \pm 1997$ . Já o período de 6 meses apresenta quatro núcleos em  $1996 \pm 1998$  com avanço de  $45^\circ$ ; em 1992 estão em fase; em 1995 a fase apresentou completamente oposta e em  $2004 \pm 2005$  com defasagem de  $45^\circ$ , ou seja, a CPUE2 responde em  $\frac{1}{8}$  do período do GITA. Esses resultados também são observados na ondeleta de coerência dessas variáveis (Figura D13b, apêndice D). A variabilidade sazonal está relacionada com valores positivos extremos do Gradiente Inter-Hemisférico da TSM, com fluxo de calor resultante em direção ao norte.

As ondeletas cruzadas e coerência indicaram um possível efeito combinado entre os índices climáticos analisados, e respectivos processos meteo-oceanográficos como contribuição a variabilidade sazonal e interanual da CPUE e do recrutamento da sardinha-verdadeira na PCSE.

#### **4.5.2.2 Variáveis Climáticas versus CPUE**

A análise de correlação cruzada (Tabela 4.9) entre as variáveis climáticas e a pesca da sardinha-verdadeira, sendo que as maiores correlações significativas observadas foram

para as componentes do vento zonal (0,4) e meridional (0,3) para ambas as áreas de estudo (Q1 e Q2). A componente zonal (AU) da área Q1 e a CPUE1 apresentaram a maior covariância em 21 meses. Já, considerando CPUE1 com a componente zonal (AU) da área Q2 obteve-se as maiores covariâncias em 14 e 18 meses. Essa componente do vento correlacionada com a CPUE2 apresentou menores coeficientes correlação significativa de -0,2 e defasagem de 14 meses. Para a componente meridional (AV) e CPUE1 observou-se uma correlação significativa de 0,4 para Q1 e 0,3 para Q2, ambas com máxima covariância em 7 meses. Para essa variável (AV) e CPUE2, os maiores coeficientes de covariância foram -0,2 para Q1 com defasagem de 4 meses e -0,3 / -0,2 com defasagens de 4 e 9 meses, respectivamente, para Q2.

Tabela 4.9 - Maiores coeficientes de correlação entre as variáveis meteo-oceanográficas e as séries de CPUE e a respectiva defasagem de tempo (meses).

Variável	CPUE1	LAG	CPUE2	LAG
ATSM_Q1	-	-	-0,2	14
ATSM_QM1	-	-	-0,2	14
ATSM_Q2	-0,2	-8	-0,2	13
ATSM_QM2	-	-	-0,2	13
AU_Q1	-0,4 e 0,3	21 e 7	-0,2	-14
AV_Q1	0,4	7	-0,2	-4
AU_Q2	-0,3 e 0,3	-14 e 18	-0,2	-14
AV_Q2	0,3	7	-0,3 e -0,2	-4 e -9
AEKMAN_Q2	-0,3	18	0,2 e -0,2	-14 e 35
CPUE2	0,4 , -0,3 , -0,2	0 , -3 , -14		

Analisando o transporte de Ekman e CPUE, a covariância significativa verificada foi apenas com a área Q2 (AEKMAN\_Q2) com -0,3 de correlação para CPUE1 em 18 meses e 0,2 e -0,2 correlação em ~1 e ~3 anos, respectivamente. As anomalias de TSM mostraram covariância distinta para as CPUEs analisadas. A CPUE1 apenas apresentou covariância significativa com ATSM de Q2 e -0,2 de coeficiente de correlação em 8 meses. Quanto à CPUE2, encontrou-se uma covariância máxima -0,20 em ~1 ano.

A covariância entre as CPUE em Q1 e Q2, indica um coeficiente de máxima correlação de 0,40 para *lag* (defasagem) igual a zero. Isso mostra que a variabilidade das capturas no Estado de São Paulo (SP) está correlacionada com as capturas no Estado de Santa Catarina (SC). Os resultados das correlações cruzadas dos parâmetros estudados e da captura da sardinha-verdadeira corroboram a hipótese que na PCSE essa espécie se comporta como se estivesse num sistema semi-fechado, tanto no aspecto meteo-

oceanográfico (CASTRO *et al.*, 2006) como no aspecto do estoque da sardinha-verdadeira (CERGOLE, 1993; SUNYÉ, 1999; JABLONSKI, 2007).

Todas as variáveis climáticas analisadas mostraram covariância significativa, apesar dos coeficientes terem sido relativamente baixos ( $<0,50$ ). Apesar da ordem de grandeza ser semelhante ao observado por Gigliotti *et al.* (2007), a covariância aqui obtida apresentou períodos diferentes de máxima correlação. Observando os períodos de máxima covariância, verifica-se que esses parâmetros meteo-oceanográficos estão relacionados com a fase de recrutamento da sardinha-verdadeira e assim a atividade pesqueira. Devem, entretanto, serem considerados efeitos relacionados às interações interespécies, as reações às alterações do habitat, à poluição, à mudança de clima, entre outros. Os resultados obtidos estão de acordo com os obtidos por Sunyé e Servain (1999) e Jablonski (2003).

A CPUE é usada para relacionar sucesso no recrutamento com a variabilidade ambiental. Correlações entre CPUE/recrutamento e parâmetros ambientais têm sido relatadas como baixas, mesmo sendo significativa, devido a complexidade na interação desse sistema. A temperatura e o campo de ventos tem sido frequentemente usados como dados ambientais relacionando-os à hipótese da janela de ótimo ambiental para o sucesso do recrutamento. Estudos sobre as relações entre CPUE e a variabilidade ambiental apresentam uma dificuldade para dados simultaneamente, prejudicando sua análise exploratória, que por muitas vezes produzem resultados complexos (MYERS, 1998). Por meio de diferentes mecanismos, o vento, por exemplo, pode afetar a variabilidade do recrutamento e conseqüentemente a pesca, indicando uma relação não-linear em distintas escalas espaço-temporais.

As correlações no sistema ambiente-recrutamento-CPUE para as populações da sardinha-verdadeira, podem ser ora positiva ou ora negativa dependendo da variabilidade do parâmetro considerado, especialmente próximo aos limites geográficos de ocorrência da espécie. Por exemplo, CPUE/recrutamento pode estar positivamente correlacionado com a TSM no limite norte (Estados do Rio de Janeiro e de São Paulo) de ocorrência da espécie na PCSE e negativamente correlacionado no limite sul (Estado de Santa Catarina). A migração da população de sardinha-verdadeira dentro da PCSE tende, também, afetar a produção pesqueira local.



Neste trabalho, somente serão mostrados resultados de ondeleta cruzada e de coerência referente às variáveis que apresentaram covariância cruzada significativa conforme Tabela 4.9.

A variabilidade comum (Figura D14a e D14b, apêndice D) entre a ATSM em QM2 (ATSM\_QM2) e a CPUE em Q1, evidência 2 picos de maiores amplitudes. O primeiro pico (2003-2005), observado durante toda a série analisada, entre 6 meses e 1 ano aproximadamente, sendo que no início os sinais estão completamente em fase completamente opostas, havendo uma inversão de fase e no final dessas séries eles estão completamente em fase. O outro núcleo centrado em 6 meses, para o período de 2005-2006 e a CPUE1 tem o sinal avançado em  $90^\circ$  das ATSM\_QM2, ou as anomalias da TSM em QM2 respondem em  $\frac{1}{4}$  do período da CPUE1. O segundo pico de energia centrado em 4 meses e para o período de 2001-2002, mostra os sinais totalmente em fase opostas.

A análise de ondeleta cruzada entre a CPUE e a anomalia do componente zonal do vento (AU) em Q1 (Figura D15a, apêndice D) indica uma variabilidade comum com três bandas de energia. A primeira faixa está centrada em aproximadamente 1 ano para o período de 2002-2004 onde a componente AU\_Q1 está avançada com  $135^\circ$  da CPUE1. AU\_Q1 domina a interação, ou seja, as anomalias da componente AU respondem em  $\frac{3}{8}$  do período da CPUE em Q1. Na segunda banda, centrada em 1,5 anos, a CPUE1 está defasada  $45^\circ$  da componente AU, ou a CPUE1 responde para esse período em  $\frac{1}{8}$  do período das anomalias da componente AU. Na terceira banda, a variabilidade comum entre estas variáveis está completamente em fase, para o período de 2004±2006. A ondeleta de coerência (Figura D15b, apêndice D) confirma a covariabilidade dos sinais, especialmente para o período de ~1 ano.

Considerando a CPUE e a anomalia do componente meridional do vento (AV) em Q1 (Figura D16a, apêndice D), observa-se uma variabilidade comum durante toda a série e dentro do cone de influência, numa banda de energia de 6 meses a 1 ano aproximadamente, sendo que a energia intensifica após o ano de 2004. Quanto à fase, os sinais estão defasados em  $45^\circ$ , no início da série, ou em outras palavras, a CPUE1 responde em  $\frac{1}{8}$  do período das anomalias da componente meridional do vento em Q1. A ondeleta de coerência (Figura D16b, apêndice D) entre esses sinais também confirma a covariabilidade, principalmente no início das séries.

Quanto à anomalia do transporte de Ekman (AEKMAN) em Q2, a ondeleta cruzada (Figura D17a, apêndice D) apresentou uma variabilidade comum entre esse parâmetro e a CPUE1 na mesma banda observada para a anomalia da componente meridional do vento (AV), com um pico de 6 meses a 1 ano aproximadamente para toda a extensão das séries analisadas. Essas assinaturas se encontram predominantemente em fase sua covariabilidade (Figura D17b, apêndice D).

Na ondeleta cruzada da CPUE e a ATSM ambas em Q2 (Figura D18a, apêndice D), verifica-se uma banda de energia significativa entre 2 e 3,5 anos em 1993/2002. Neste caso, a CPUE2 responde em  $\frac{1}{4}$  (defasagem de  $90^\circ$ ) do período das anomalias da TSM em Q2. O segundo centro de energia é no período de 1,5 anos para 1993/2004. A terceira banda varia de 6 a 8 meses com três núcleos em destaque, em 1991-1992 (com defasagem de  $225^\circ$ ), em 1993-1995 (com defasagem de  $225^\circ$ ), em 1997-1999 (fase completamente oposta) e em 2003-2005 (completamente em fase). Esses resultados indicam que em anos de eventos extremos (ENOS+1) as anomalias da TSM e a CPUE ao largo do PCSE, na região próxima ao Estado de São Paulo covariam em fase completamente oposta e evidenciando assim a interrelação entre os processos meteorológicos e a variabilidade da pesca da sardinha-verdadeira. A mesma covariabilidade pode ser observada na análise da ondeleta de coerência (Figura D18b, apêndice D).

Analisando a ondeleta cruzada das séries de anomalia da componente meridional do vento (AV) em Q2 e de CPU2, verifica-se no domínio período/tempo uma variabilidade comum (Figura D19a, apêndice D) em três bandas de energia. A primeira de 2,5 a 3,5 anos no período 1994/2001 (em fase completamente oposta), a segunda de 1,5 anos para  $1992 \pm 1997$  (sem predomínio de fase). E o terceiro núcleo de energia centrado em aproximadamente 1 ano, onde a CPUE2 tem sinal avançado em  $45^\circ$  das AV\_Q2, isto é, as anomalias da componente meridional (AV) em Q2 respondem em  $\frac{1}{8}$  do período da CPUE2. A covariabilidade desses sinais é confirmada pela ondeleta de coerência (Figura D19b, apêndice D).

Três principais bandas energéticas no domínio período/tempo, também podem ser visualizadas na ondeleta cruzada e de coerência entre a anomalia do transporte de Ekman (AEKMAN) em Q2 e a CPUE2 (Figura D20a e D20b, apêndice D), mostrando a

variabilidade comum entre essas variáveis. De 2 a 3,5 anos é observado um núcleo para o período de 1992 a 2002 com fase completamente oposta. Outro núcleo é centrado em 1,5 anos para 1992/1996 e um ângulo de defasagem de  $225^\circ$ , ou seja, a CPUE2 responde em  $\frac{3}{8}$  do período das anomalias do transporte de Ekman em Q2. A terceira faixa de energia com altas amplitudes varia de 6 a 8 meses e apresenta três núcleos: em 1991-1992 (fase avançada em  $90^\circ$ ), em 1998-1999 (fase avançada em  $90^\circ$ ) e em 2003-2006 (fase completamente oposta). Também podem ser visualizados núcleos para um período menor que 4 meses. Isto sugere que as anomalias do transporte de Ekman afetam todo o ciclo de vida da sardinha-verdadeira, quer seja na fase larval, pelo enriquecimento das águas através da ressurgência da ACAS ou dispersão de ovos e larvas, quer seja no sucesso do recrutamento ao estoque adulto e pesqueiro.

#### 4.6 - Análises de Componentes Principais (ACP) e Análise de Redundância (RDA)

##### 4.6.1 - ACP Região Q1

Considerando o primeiro eixo da ACP (37% da variância) para a região Q1 (Figura E1, apêndice E) observa-se um gradiente com *loadings* (ângulo do vetor direção) positivos para as variáveis anomalias da velocidade do vento (AVEL\_Q1 e AVEL\_Q2), dos componentes zonal (AU\_Q1 e AU\_Q2) e da meridional (AV\_Q1 e AV\_Q2) e sua projeção (AV\_PJ\_Q1 e AV\_PJ\_Q2) em ambos os quadrantes, enquanto que a anomalia do transporte de Ekman (AEKM\_Q1 e AEKM\_Q2) apresenta *loadings* negativos para ambos os quadrantes. Variáveis relacionadas à ATSM em todas as áreas de estudo (AT\_Q1, AT\_Q2, AT\_QM1 e AT\_QM2) não apresentaram correlação aparente com as variáveis estimadas a partir de dados de vento, já que a posição dos *loadings* está ortogonal.

A CPUE1 foi positivamente correlacionada (Figura E2, apêndice E) com o eixo 1 (*loading* positivo) portanto, aparentemente, as maiores CPUEs foram observadas para maiores valores das variáveis relacionadas ao vento (AVEL, AU, AV e AV\_PJ). Entretanto, o vetor curto sugere pouca diferença nesta variação, já que os valores não aumentam muito, ou aumentam muito pouco.

O segundo eixo (19,4 % de variância) (Figura E3, apêndice E) apresentou gradiente com *loadings* positivos para as variáveis relacionadas a ATSM (AT\_Q1, AT\_Q2, AT\_QM1 e AT\_QM2) e *loadings* negativos para os índices climatológicos AAO, MEI e GITA, bem

como para componente meridional do vento e sua projeção e CPU1. Isso indica que os valores de CPUE1 aumentariam com o aumento dos índices e das anomalias da componente meridional do vento e sua projeção (AV\_Q1, AV\_Q2, AV\_PJ\_Q1 e AV\_PJ\_Q2), e cairiam com aumento das ATSM (AT\_Q1, AT\_Q2, AT\_QM1 e AT\_QM). A contribuição do MEI foi muito pequena. A variável pode ser pouco correlacionada com as demais, ou apresentar pequena variação em comparação com as demais.

O primeiro Plano Fatorial (eixos 1 e 2) explicou 56,4% da variância total dos dados (Figuras E1 e E2, apêndice E).

Distribuição das amostras, ou meses de captura:

Padrão sazonal	Sem padrões aparentes
Padrão Interanual	Anos 2000; 2001; 2003 e 2005 – sem padrão aparente Ano 2002 – escores negativos no primeiro eixo Ano 2004 – escores negativos no segundo eixo Ano 2006 – escores positivos no primeiro eixo

O terceiro eixo (16,7 % da variância explicada) descreveu um gradiente com *loadings* positivos para MEI, AT\_Q2 e QM2, AV\_Q2 e AV\_PJ2, AEKM\_Q2 e *loadings* negativos para AU\_Q1 e Q2 e AVEL\_Q1 e Q2 (Figura E3, apêndice E).

O quarto eixo (7,6 % de explicação da variância total) apresentou um gradiente entre CPUE1, AAO, GITA (dipolo), ATSM nas áreas Q1 e QM1 (AT\_Q1, AT\_QM1) e anomalia do transporte de Ekman (AEKM\_Q1) com *loadings* negativos e MEI, AT\_Q2 e QM2, AV\_Q2 e Q1, AV\_PJ\_Q2 e Q1, AEKM\_Q2 com *loadings* positivos (Figura E4, apêndice E). Entretanto, houve baixa ou nenhuma correlação entre as variáveis com *loadings* positivos e a CPUE neste eixo. Apenas sugere o aumento da CPUE com o aumento dos índices supracitados.

O segundo Plano Fatorial (eixos 3 e 4) explicou 24 % da variância total (Figuras E3 e E4, apêndice E).

Distribuição das amostras, ou meses de captura:

Padrão sazonal	Sem padrões aparentes observados, exceto pelos meses de verão, que tenderam a apresentar escores negativos no quarto eixo
Padrão Interanual	Ano 2000 – escores negativos no terceiro eixo e positivos no quarto eixo. Ano 2001 – escores predominantemente negativos no terceiro e quarto eixos. Ano 2002 – escores predominantemente positivos no quarto eixo. Ano 2003 – escores positivos no quarto eixo. Anos 2004 e 2005 – escores negativos no quarto eixo. Ano 2006 – predominantemente negativos no quarto eixo.

#### 4.6.2 - ACP Região Q2

Para a ACP da região Q2, o primeiro eixo explicou 31,2 % da variância. Apresentou um gradiente nesse eixo com AU\_Q1 e AU\_Q2, AVEL\_Q1 e AVEL\_Q2 tendo loadings positivos e AEKM\_Q1 e AEKM\_Q2, bem como AT\_Q1 e AT\_QM1 com loadings negativos (Figura E5, apêndice E). O segundo eixo (Figura E6, apêndice E) explicou 21,1 % da variância total dos dados. Gradiente observado entre *loadings* positivos para as variáveis MEI, CPU2, AT\_QM1, AT\_Q1, GITA (dipolo) e AAO (menor intensidade) enquanto que AT\_Q2 e AT\_QM2, AEKM\_Q2 (menor intensidade) apresentaram *loadings negativos*.

Distribuição das amostras, ou meses de captura para os eixos 1 e 2 da ACP na área Q2 (Figura E5 e E6, apêndice E):

Padrões sazonais	Sem padrão aparente
Padrões interanuais	
1º eixo	Escores positivos ou predominantemente positivos (até 3 meses negativos): 1995; 2005 Escores negativos ou predominantemente negativos (até 3 meses positivos): 1996; 1999; 2002
2º eixo	Escores positivos ou predominantemente positivos (até 3 meses negativos): 1996; 1999; 2002; 2004; 2005; 2006 Escores negativos ou predominantemente negativos (até 3 meses positivos): 1996; 1999; 2002; 2004; 2005; 2006

O terceiro eixo da ACP da região Q2 explicou 19,5% da variância total. Formou um gradiente (Figura E7, apêndice E) entre AEKM\_Q2 e AU\_Q1 com *loadings* positivos (as demais variáveis apresentaram valores pequenos demais e foram desconsiderados) e os maiores loadings negativos observados para as variáveis AT\_Q1, AT\_QM1, AT\_Q2 e AT\_QM2.

No quarto eixo 7,3 % explicou a variância total na ACP da região de estudos Q2. O gradiente com maiores *loadings* positivos para CPU2, GITA (dipolo); MEI seguidos pelas *loadings* também positivos para AAO; AV\_Q1; AV\_Q2; AV\_PJ\_Q1; AV\_PJ\_Q2; AEKM\_Q1; AU\_Q2 e *loadings* negativos, porém com valores menores para AVEL\_Q1; AVEL\_Q2; AU\_Q1 e AEKM\_Q2 (Figura E8, apêndice E).

Distribuição das amostras, ou meses de captura (Figura E7 e E8, apêndice E) para os eixos 3 e 4 da ACP na área Q2:

Padrões sazonais	Sem padrão aparente
Padrões interanuais	
3º eixo	Escores positivos ou predominantemente positivos (até 3 meses negativos): 1990; 1992; 1994; 1999; 2000 Escores negativos ou predominantemente negativos (até 3 meses positivos): 1998; 2001; 2002; 2003; 2005; 2006
4º eixo	Escores positivos ou predominantemente positivos (até 3 meses negativos): 1992; 1997; 1998; 2004; 2006 Escores negativos ou predominantemente negativos (até 3 meses positivos): 1990; 1993; 1994; 1996; 1999; 2000; 2001; 2003; 2005

#### 4.6.3 Análise de Redundância (RDA)

Modelo de RDA explicou 12,8 % da variância nos 2 primeiros eixos canônicos (Figura E9 e E10, apêndice E). Os demais não devem ser considerados, pois foram consideradas apenas duas variáveis explicadas, as CPUEs. A análise de redundância foi obtida para a ordenação de duas variáveis dependentes (CPUE1 e CPUE2) e dezessete (variáveis ambientais) fatores explanatórios.

As variáveis que contribuíram significativamente com a explicação do modelo estão descritas na tabela abaixo:

VARIÁVEL	$\lambda_A$	P	F
GITA	0,07	0,014	4,73
AT_QM1	0,06	0,039	3,61

Valores são o P do teste de Monte Carlo, considerando um percentual inferior a 5 % das permutações (da matriz de variáveis ambientais) apresentou correlação superior ao valor original. Valores Lambda-A ( $\lambda_A$ ) são as contribuições das variáveis para o modelo.

As CPUEs (1 e 2) nas áreas de estudos Q1 e Q2 apresentaram correlação positiva com o primeiro eixo (Figura E9, apêndice E). Foram separados os meses de maior e menor captura ao longo desse eixo (11,4 %).

No segundo eixo houve separação entre as CPUEs 1 e 2, com *loadings* negativos e positivos, respectivamente. A CPUE1 correlacionou-se melhor com o índice GITA - correlação positiva, enquanto a CPUE2 correlacionou-se positivamente com a variável AT\_QM1 (Figura E10, apêndice E).

Distribuição dos meses de amostragem (Figuras E9 e E10, apêndice E):

<b>Sazonal/</b> Verão	Sem segregação aparente em nenhum dos dois eixos
Inverno	Sem segregação aparente em nenhum dos dois eixos
Outono	Tendência a escores negativos, mas os meses de abril-maio (2001, 2004, 2005 e 2006) apresentaram escores positivos
Primavera	Predominantemente escores positivos no primeiro eixo
<b>Anual</b>	Escores predominantemente positivos no primeiro eixo: 2001; 2004 e 2005 Escores predominantemente negativos no primeiro eixo: 2000 Escores predominantemente positivos no segundo eixo: 2001; 2003 Escores predominantemente negativos no segundo eixo: 2004; 2005

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os ecólogos têm encontrado dificuldades em compreender padrões da natureza a partir de observações de variáveis físicas e biológicas. Por isso muitos pesquisadores, dentre eles Legrenge e al. (2002), utilizam simulações estocásticas computacionais na tentativa de incorporar padrões determinísticos nas variáveis ambientais que respondam aos processos biológicos.

A dinâmica de populações de espécies marinhas está altamente correlacionada com os regimes climáticos de longo termo estabelecido pela circulação oceânica. Diversos autores têm mostrado que o clima tem influência sobre a variabilidade dos processos ecológicos. Estes efeitos são expressos através de parâmetros regionais climáticos como a temperatura, o vento, a precipitação, as correntes oceânicas, assim como as interações entre estes. As variações regionais do clima freqüentemente atingem grandes áreas geográficas e, como consequência podem determinar o crescimento, o recrutamento, e a migração de espécies marinhas.

A variabilidade da população de peixes e as atividades de pesca são ligadas à variabilidade climática. Enquanto o clima marinho afeta diretamente a pesca, a variabilidade ambiental determina a distribuição, migração e abundância de peixes. Lehodey *et al.* (2006) relatam que a ciência pesqueira cresceu integrando o conhecimento da oceanografia, da biologia dos peixes, da ecologia marinha, e da dinâmica da população dos peixes. Através dessas áreas do conhecimento, buscou-se compreender e explicar as escalas de variabilidade associadas ao recrutamento da sardinha-verdadeira.

Os fatores abióticos ecologicamente mais significativos para peixes marinhos incluem a temperatura, salinidade, correntes, iluminação e topografia. Em particular, a temperatura influencia na taxa metabólica dos peixes, define a quantidade de alimento necessário tolerada por suas atividades metabólicas. Finalmente, os fatores abióticos afetam a abundância e a distribuição dos recursos, pois determinam a quantidade de alimento disponível para os peixes (GERTSEVA e GERTSEV, 2006). A distribuição temporal e espacial da sardinha pode estar ligada a parâmetros ambientais como a TSM, direção e intensidade do vento e transporte de Ekman.



A dinâmica das plataformas continentais possui uma característica relevante como a resposta de suas águas a ventos superficiais quer seja em escala temporal sazonal ou sinótica. Castro e Miranda (1998) indicam que a dinâmica das correntes sobre a plataforma depende da largura e topografia da plataforma e da magnitude, direção e cisalhamento do vento. Isto deve influenciar a sobrevivência dos ovos e das larvas da sardinha-verdadeira, tornando seu pleno conhecimento de extrema importância para compreender a dinâmica dessa espécie, pois condições desfavoráveis ou extremas devem levar a dispersão de ovos e larvas comprometendo sua sobrevivência. Sistemas frontais (frentes frias) caracterizam-se como a perturbação meteorológica em escala sinótica mais importante na região compreendida entre o Cabo de Santa Marta (SC) e Cabo Frio (RJ) (CASTRO, 1985). Stech e Lorenzetti (1992), observaram que a ocorrência desses sistemas frontais, com ventos de direção sul, varia entre 3 e 6 por mês, ao longo do ano. A variabilidade dessas perturbações podem também influenciar o sucesso das duas etapas mais críticas do ciclo de vida da sardinha-verdadeira.

Nesse trabalho, as periodicidades encontradas para as componentes zonal e meridional e para a intensidade do vento foram similares às obtidas por Soppa (2007) e Gigliotti (2006). A magnitude estimada do transporte de Ekman também está de acordo com os resultados obtidos por Jablonski (2003, 2007). Na PCSE, o vento climatológico predominante é de leste ou de nordeste, impulsionando correntes predominantes para sudoeste e favorecendo a transporte de Ekman.

A anomalia mensal das componentes zonal (AU) e meridional (AV) do vento, transporte de Ekman e os valores de CPUE da sardinha-verdadeira, para toda área de estudo, quando comparadas mostram que as anomalias negativas dessas variáveis tendem a diminuir os valores de captura dessa espécie, ao passo que valores positivos de AU, AV e transporte de Ekman levam a um aumento na CPUE. Não se deve, entretanto, considerar como uma relação simples e direta entre essas variáveis, pois outros fatores ambientais também influenciam a variabilidade da captura da sardinha-verdadeira na PCSE, como verificado por Sunye e Servain (1998) e Jablonski (2003).

Uma das principais características da região desse estudo é a presença sazonal das águas frias e ricas em nutrientes da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na parte interna da plataforma continental, entre 10 m a 50 m de profundidade. Já o vento dominante local

tem uma componente predominantemente zonal, em direção ao continente. Porém a circulação de larga escala é dominada pela componente paralela à costa.

Analisando as series de anomalias normalizadas de TSM verificou-se que os valores extremos dessas anomalias se relacionam com anos de eventos ENOS+1. Comparando esses valores de ATSM, observa-se que valores de anomalias negativas de TSM ao largo da PCSE próxima ao Estado de São Paulo (Q2) relacionaram com o aumento da CPUE2 e ATSM positivas indicam uma diminuição na captura da sardinha-verdadeira em Q2.

Os valores máximos de ATSM ocorreram principalmente durante a época de recrutamento ao estoque adulto, com exceção da área QM2 que apresentou o valor máximo no início do período de desova da sardinha-verdadeira. Enquanto que os máximos da anomalia do transporte de Ekman foram durante a estação de desova dessa espécie. Já os valores mínimos dessas anomalias foram observados durante período de desova (ATSM e AU em Q1 e Q2) e época de recrutamento (transporte de Ekman e ATSM na área QM1). Os resultados encontrados são de grande importância para o entendimento da variação da captura da sardinha-verdadeira, que como espécie pelágica é muito sensível a variabilidade ambiental, especialmente em época de desova e recrutamento.

Em regiões de plataformas continentais, os processos horizontais e grande escala tendem a determinar a distribuição das propriedades, sendo a força de Coriolis, o balanço geostrófico e a ação dos ventos importantes forçantes do fluxo horizontal (MANN e LAZIER, 2006). Um fator adicional muito importante a ser considerado para a zona costeira é o aporte de águas continentais. Por ter a salinidade significativamente mais baixa, essas águas são mais leves e, por consequência, se colocam sobre a água salgada do mar, criando uma estratificação que pode ser independente das diferenças de temperatura entre as camadas.

Analisando o gradiente térmico horizontal com os índices climatológicos utilizados, verificou-se que este gradiente tende a aumentar positivamente, em direção a costa, durante eventos positivos (El Niño) do ENOS e a diminuir com a fase negativa do ENOS (La Niña) invertendo o sentido do gradiente para direção a quebra da plataforma. Confrontado o sinal do gradiente térmico horizontal nas áreas estudas com o índice GITA, temos que o Gradiente Inter-Hemisférico varia predominantemente de forma similar

a esse gradiente térmico em Q1. Enquanto que para a área Q2 eles covariam inversamente na maior parte do período considerado. Ou seja, o gradiente térmico horizontal na PCSE acompanha a variabilidade do fluxo de calor do oceano Atlântico, indicado pelo índice GITA. Em toda série, principalmente entre as áreas Q2 e QM2, pode-se notar que existe um aumento no valor absoluto desse gradiente durante o mês de julho, devido provavelmente a advecção da Água Costeira (AC) durante o inverno e no mês de outubro relacionado a processos de ressurgência costeira durante a primavera.

As análises de ondeleta dos parâmetros meteo-oceanográficos, aqui estudados, mostraram que suas variabilidades estão, tanto, relacionados a fenômenos de larga escala como a variabilidade da ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul) e do balanço geostrófico, além de processos do acoplamento do sistema oceano-atmosfera, como a Oscilação Semi-Anual (OSA) e o ciclo anual da PNM (Pressão Atmosférica ao Nível do Mar), como fenômenos de mesoescala (variabilidade da CCB e formação de vórtices e meandros. Os períodos de maiores amplitudes de energia também indicam estar relacionados com eventos ENOS, Oscilação Antártica e Gradiente Inter-Hemisférico de TSM no oceano Atlântico. Demonstra, assim, a importância de pesquisas relacionadas com teleconexão do sistema oceano-atmosfera, visando um melhor compreensão de como é o acoplamento desse sistema. Essas teleconexões são feitas na atmosfera por meio das células de Walker e nos oceanos por meio das correntes.

A ondeleta cruzada mostra que eventos ENOS (MEI), a Oscilação Antártica (AAO) e o Gradiente Inter-hemisférico (GITA) se covariam com a fase de recrutamento da sardinha-verdadeira, principalmente considerando os eventos extremos desses parâmetros e também com variabilidade interanual do estoque adulto dessa espécie. Indicam, ainda, um possível efeito combinado entre os índices climáticos analisados, e os processos meteo-oceanográficos analisados como contribuição a variabilidade sazonal e interanual da CPUE e do recrutamento da sardinha-verdadeira na PCSE. Observando os períodos de máxima covariância, verifica-se que esses parâmetros meteo-oceanográficos estão relacionados com a fase de recrutamento da sardinha-verdadeira e assim a atividade pesqueira. Devem, entretanto, também serem considerados efeitos relacionados às interações interespécies, as reações às alterações do habitat, à poluição, à mudança de clima, entre outros.

A análise de ondeleta cruzada da anomalia do transporte de Ekman com a CPUE, sugere que a variável afeta todo o ciclo de vida da sardinha-verdadeira, quer seja na fase larval, pelo enriquecimento das águas através da ressurgência da ACAS ou dispersão de ovos e larvas, quer seja no sucesso do recrutamento ao estoque adulto e pesqueiro.

Não existem indicações que o estoque da sardinha-verdadeira esteja se recuperando significativamente desde o colapso de 1987 a 1990. Esse declínio pode tanto ter sido relacionado ao aumento do esforço de pesca quanto a mudanças climáticas. Para adotar-se uma maleabilidade ou não-maleabilidade para o período de defeso, depende-se muito do grau de especialização das embarcações envolvidas na pescaria e da disponibilidade dos estoques de espécies-alvos alternativas, como a tainha e a corvina. A experiência com reservas marinhas existentes demonstrou que as comunidades de peixe podem ser reconstituídas, às vezes rapidamente, ao remover a pressão sobre a atividade pesqueira (CLARK, 2006). Talvez essas reservas marinhas ajudassem os pescadores fornecendo uma fonte segura de provimento comparado com áreas esgotadas.

Confrontando dados de captura de cerco com quantidade pescada de sardinha-verdadeira, verificamos que existe um redirecionamento da espécie-alvo, visando aumentar a captura total e o rendimento da frota. Espécies antes consideradas descarte, hoje são aproveitadas para melhorar o rendimento da pescaria. Outras espécies como a tainha (*Mugil brasiliensis*), a corvina (*Micropogonias furnieri*) e a enchova (*Pomatomos saltatrix*) não são consideradas mais como espécies acompanhantes pois possuem esforço direto e contribuem para o total de captura da frota de cerco, antes só direcionado para a sardinha-verdadeira.

Nesse trabalho, o uso de sensoriamento remoto para estimativa de parâmetros ambientais mostrou ser extremamente útil ao estudo da variabilidade espacial e temporal dos diversos processos ambientais climáticos relacionados à pesca da sardinha-verdadeira. Esses dados, combinados com dados sobre a pesca *in situ* podem contribuir para a melhor compreensão da evolução espaço-temporal da dinâmica das populações e distribuição de espécies comercialmente capturadas. A metodologia usada aqui para adquirir e processar dados meteo-oceanográficos mostrou ser apropriada para caracterizar a região de estudo quanto à sua variabilidade espacial e temporal da TSM, velocidade do vento e transporte de Ekman. Os dados podem ser úteis para auxiliar no planejamento, manejo e utilização dos recursos naturais costeiros.

Grande parte da variabilidade observada, entretanto, não foi explicada pelos parâmetros ambientais avaliados, sugerindo a atuação de processos ecológicos, que podem estar relacionados à sobrepesca de alguns estoques do recurso explorado. Não se deve descartar a hipótese de que as mudanças interanuais observadas também possam decorrer do processo de sobreexploração dos recursos pesqueiros do Sudeste Brasileiro.

Existem diversos métodos para se determinar os estoques, um deles (CPUE) utiliza dados gerados pela pesca. Outros (análise de coortes, experimentos) são baseados em dados de pesquisas independentes da pesca. Detalhes sobre esses métodos podem ser verificados em Walters e Martell (2004). Essa pesquisa utilizou dados de pesca para estimar a CPUE como captura por número de lances mais número de barcos.

As variações na composição específica das capturas da sardinha-verdadeira na região sul-sudeste do Brasil, observada nas ACP apresentaram modo predominantemente interanual, com sazonalidade discreta. Entretanto, esse resultado pode estar relacionado com a falta de dados durante o período de defeso no verão.

A análise de ACP mostrou para a área Q1 que o primeiro Plano Fatorial (eixos 1 e 2) explicou 56,8 % da variância total dos dados, enquanto que o segundo Plano Fatorial (eixos 3 e 4) explicou 24,3 % da variância total. Com relação à área Q2, o primeiro Plano Fatorial (eixos 1 e 2) explicou 52,3 % da variância total dos dados e o segundo Plano Fatorial (eixos 3 e 4) explicou 26,5 % da variância total.

Modelo de RDA explicou apenas 12,8 % da variância nos 2 primeiros eixos canônicos, sendo que CPUE da área Q1 correlacionou-se melhor com o índice climatológicos GITA (correlação positiva), enquanto a CPUE da área Q2 correlacionou-se positivamente com a variável ATSM da área QM1. As variáveis ambientais explicaram apenas um pequeno percentual da variância total observada nas capturas, sugerindo a influência de outros fatores não considerados nesse estudo, como a dinâmica da frota pesqueira, a influência de fatores bióticos ou flutuações de grande escala das populações exploradas. Pode-se utilizar, em futuras pesquisas, uma metodologia proposta por Legendre et al. (2005) através da análise de beta diversidade, considerando também a variação espacial das comunidades, visando um resultado mais refinado.

Para entender as complexas relações existentes entre os processos físicos e biológicos nas águas costeiras deve-se conhecer o efeito das ações antrópicas como, por exemplo, a poluição sobre o ambiente costeiro. O oceano é o destino final de muitos poluentes de origem terrestre, que incluem o aporte proveniente da agricultura, descarga de rios poluídos, derramamentos de óleo e aerossóis atmosféricos que eventualmente caem ou se difundem no mar. Os efeitos biológicos destes poluentes, embora pouco conhecidos, são provavelmente negativos em termos de produtividade das populações marinhas (SINDERMANN, 1995).

Além da perda de recursos pesqueiros, os custos ecológicos da poluição marinha incluem o colapso das comunidades litorâneas pesqueiras e a perda de rendimentos turísticos. Têm-se notado que os níveis da acidez no oceano estão aumentando, em consequência do aumento das concentrações de dióxido de carbono atmosférico (ROYAL SOCIETY, 2005). Isto é irreversível numa escala de milhares de anos, e poderia impactar o crescimento e na sobrevivência dos recifes de corais, das comunidades planctônicas e todo o ecossistema marinho. A poluição dos oceanos assemelha-se à poluição da atmosfera, envolvendo interações, associações e um futuro incerto. Entretanto, o controle da poluição dos oceanos dependerá de regulamentação governamental e de acordos internacionais.

Uma importante prática exigida para qualquer estratégia de gerenciamento pesqueiro é a necessidade de uma continua atualização das estimativas de estoques. Infelizmente, tais avaliações são normalmente caras e um pouco precisas, como esperado para um recurso móvel e de difícil detecção (CLARK, 2006). Este problema pode ser minimizado pelo uso do acesso aberto (Open Access – OA) da informação (APÊNDICE C). Entretanto, o pouco conhecimento, mesmo para importantes espécies pescadas, sobre as populações marinhas e alguns aspectos quase que completamente desconhecidos como, por exemplo, a estimativa de abundância do estoque e características biológicas como o crescimento, a mortalidade natural e as taxas reprodutivas que são importantes parâmetros para decisões de gerenciamento, são geralmente imprecisos. Isso interfere na boa aplicabilidade da política pesqueira. Alguns aspectos sobre a política e gerenciamento pesqueiro são melhor descritos no APÊNDICE B.

Como continuidade do presente trabalho, seria interessante acrescentar a análise de séries multi-temporais de clorofila-a e de turbidez, em conjunto com as respectivas séries

de TSM e vento. Isso contribuiria para um melhor entendimento do papel dessas forçantes sobre as variações de captura da sardinha-verdadeira observada na região de estudo.

Mesmo que uma variável ambiental seja importante, não significa que ela seja a chave para prever a variabilidade do recrutamento da sardinha-verdadeira e assim permitir uma gestão pesqueira sustentável. Devem-se serem adicionados a isso, estudos sobre a variabilidade da biomassa desovante. Neste tipo de estudo, todos os possíveis índices de abundância também devem ser utilizados, como o índice ictioplanctônico, taxa de desova e de mortalidade nos estágios juvenis, o relacionado com distribuição/migração e densidade populacional dentro da área de ocorrência da sardinha para relacioná-los com os mais diversos processos meteo-oceanográficos e assim contribuir para o sucesso do gerenciamento desse recurso.

É recomendado realizar análises com séries temporais na resolução temporal semanal para que se possa verificar a importância das passagens de frente frias na região como indicado por diversos autores, dentre eles Pezzi e Cavalcanti (2001). Esta é uma limitação dos dados utilizados neste trabalho, pois os mesmos se referem somente à médias mensais.

A qualidade dos dados é crucial no estudo da interação ambiente-recrutamento. Os dados de produção pesqueira devem ser também atualizados para que se possa utilizar uma série temporal mais longa e ser possível melhor analisar sua relação com fenômenos de grande escala. Esses dados devem ser criteriosamente selecionados evitando possíveis erros nas análises. Isso é especialmente válido para a área Q1 (Estado de Santa Catarina), onde os dados disponíveis até o presente são apenas para um período de 7 anos de duração (2000-2006). Geralmente os valores dos parâmetros estimados envolvem uma incerteza considerável. Também as estimativas do estoque atual e da produtividade potencial são altamente incertas. Essa incerteza conduz ao risco na tomada de decisão (HILBORN *et al.*, 1993). Francis e Shotten (1997) conceituaram incerteza como o conhecimento incompleto sobre o estado ou processos da natureza enquanto que o risco é definido como a probabilidade de algo acontecer errado. Deve-se ter uma avaliação realística do grau de incerteza que tem a informação.

González (2003), estudando anomalias meteorológicas devido à teleconexão de alta frequência de eventos ENOS e La Niña e seus efeitos na região costeira da Venezuela e a pesca da sardinha (*Sardinella aurita*) nessa região, verificou que essa variabilidade climática parece influir nessa atividade pesqueira. Em regiões mais costeiras, os valores das capturas estão associados a intensidade dos ventos e a temperatura do ar; de tal forma que sua disponibilidade e/ou acessibilidade estaria sujeita a essa variabilidade natural. O estudo aqui feito, pode ser recomendado também para regiões tropicais como a Venezuela e o Caribe.

A metodologia de ondeleta e ondeleta cruzada utilizada nesse trabalho mostrou ser robusta e de extrema valia para auxiliar na gestão pesqueira, podendo ser empregada para outras espécies principalmente em áreas tropicais e subtropicais, onde a variabilidade climática é mais facilmente detectada.

Todos esses aspectos devem ser considerados para obtenção de uma política pesqueira coerente e sustentável. Esse mesmo tipo de análise pode ser estendido a outras áreas costeiras, oceânicas e estuarinas, assim como a outros estoques pesqueiros onde a ecologia da espécie-alvo é tipicamente relacionada aos parâmetros abióticos marinhos.



## BIBLIOGRAFIA

- Alves, J.M.B.; Souza, R.O.; Campos, J.N.B. (2006) Previsão da anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical, com a equação da difusão de temperatura. **Climanálise**. v.03, n.01.
- Amaral, A.C.Z.; Jablonski, S. (2005) Conservação da biodiversidade marinha e costeira no Brasil. **Megadiversidade**. v.1 n.1, p.44-51.
- Anderson, C.I.H.; Rodhouse, P.G. (2001) Life cycles, oceanography and variability: ommastrephid squid in variable oceanographic environments. **Fisheries Research**. v.54, p.133-143.
- Anding, D.; R. Kauth, R. (1970) Estimation of Sea Surface Temperature from Space. **Remote Sensing of Environment I** (1970). p.217-220.
- Andrade, H.A. (1996) **Distribuição, abundância relativa e migração do *Katsuwonus pelamis* (Scombridae) em relação à temperatura da superfície do mar e à dinâmica oceanográfica na costa sudeste-sul do Brasil**. Dissertação Mestrado em Oceanografia Biológica. Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande. 148p.
- Andreoli, R.V.; Kayano, M.T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the Tropical Atlantic. (2003) **J. of Geophysical Research**. v.109, n.C5, p.C05009.1-C05009.12. doi:10.1029/2003JC002220
- Araújo, C.E.S. (2003) **Avaliação da acurácia das temperaturas da superfície do mar obtidas por satélite para a região sul-sudeste da costa brasileira**. Dissertação Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovado em 1996. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 146p. DOI: INPE-9751-TDI/857
- Ávila-da Silva, A.O.; Carneiro, M.H.; Mendonça, J.; Servo, G.; Bastos, G.; da Silva, S.O.; Sakamoto, M.S. (2004) Produção pesqueira marinha do Estado de São Paulo no ano 2001. **Sér. Relat. Téc. Inst. Pesca**. v.15, p.1–19.

Ávila-da Silva, A.O.; Carneiro, M.H.; Mendonça, J.; Servo, G.; Bastos, G.; da Silva, S.O.; Batista, P.A. (2005) Produção pesqueira marinha do Estado de São Paulo no ano 2004. **Sér. Relat. Téc. Inst. Pesca.** v. 20, p.1–40.

Bakun, A.; Parrish, R.H. (1990) Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the Brazilian sardine (*Sardinella aurita*) . **J. Cons. Int. Explor. Mer.** v.46, p.269-283.

Bakun, A. (1996) **Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics**. University of California Sea Grant, San Diego, California, USA, em cooperação com Centro de Investigaciones Biologicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico. 323p.

Barbosa, A.C.B. (2007) **Estudo da Variabilidade Acoplada Oceano-Atmosfera no Atlântico Tropical**. Dissertação Mestrado em Meteorologia. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 139p.

Binet, D. (1982) Influence des variations climatiques sur la pêche des *Sardinella aurita* ivoire-ganeennes: relation secheresse-surpêche . **Oceanologica Acta**. v.5, p.443-452.

Binet, D. (1988) Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest africaine. **Aquat. Living Resour.** v.1, p. 115-132.

Binet, D. (1995) Hypotheses accounting for the variability of *Sardinella* abundance in the Northern Gulf of Guinea. *In*: Bard, F.X. e K.A. Koranteg, K.A. eds. **Dynamics and Use of Sardinella Resources from Upwelling off Ghana and Ivory Coast**. Paris Editions ORSTOM. p.98–119.

Bocard, D.; Legendre, P.; Drapeau, P. (1992) Partialling out the Spatial Component of Ecological Variation. **Ecology**. v.73, n.3, p.1045-1055..

Bloomfield, P. (1976) **Fourier analyses of time series: an introduction**. New York.

- Bontempi, P.S.; Yoder, J.A. (2004) Spatial variability in SeaWiFS imagery of the South Atlantic bight as evidenced by gradients (fronts) in chlorophyll *a* and water-leaving radiance. **Deep Sea Res. II**, v.51, n.10-11, p.1019-1032. DOI:10.1016/j.dsr2.2003.10.011.
- Brandini, F.P. (1990) Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). **Hydrobiologia**. v. 196, p.111-148.
- Campos, E.D.J.; Gonçalves, J.E.; Ikeda, Y. (1995) Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. **J. Geophys. Res.**, v.100, n.6, p.18537-18550.
- Campos, E.J.D., Lorenzetti, J.A., Stevenson, M.R.; Stech, J.L., Souza, R.B. (1996) Penetration of waters from the Brazil–Malvinas confluence region along the South American continental shelf up to 23°S. **Anais Acad. Bras. Ciências**. v.68(i), p.49–58.
- Campos, E.J.D.; Lentini, C.A D.; Miller, J.L.; Piola, A.P. (1999) Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. **Geophysical Research Letters**, v.26, n.14, p.2061-2064.
- Castello, J.P. (2005) **Síntese sobre distribuição, abundância, potencial pesqueiro e biologia da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*)**. Análise/Refinamento dos Dados Pretéritos Sobre Prospeção Pesqueira. Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva MMA – REVIZEE.
- Castro, B.M. (1985) **Subtidal response to wind forcing in the south Brazil bight during winter**. Tese (PhD. in Ocean Physics). Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami, Flórida. 221p.
- Castro, B.M. (1990) **Estado atual do conhecimento dos processos físicos das águas da plataforma continental sudeste do Brasil**. II Simpósio de Ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira, Águas de Lindóia, SP . Academia de Ciências. n.1, p.1-19.

- Castro, B.M. (1996) **Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo. São Paulo.** Tese (Livre Docência). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 248p.
- Castro, B.M.; Miranda, L.B.; Miyao, S.Y. (1987) Condições oceanográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Bolm. Inst. Oceanogr.** São Paulo. v.35, n.2, p.135-152.
- Castro, B.M.; Miranda, L.B. (1998) Physical oceanography of the Western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S, coastal segment (4°W). In: Robinson, A.R.; Brink, K.H. (Eds.). **The Sea**. John Wiley & Sons. v. 11, Cap. 8, p. 209-251.
- Castro, B.M.; Lorenzetti, J.A.; Silveira, I.C.A.; Miranda, L.B. (2006) Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. e Madureira, L. S.-P. 2006. **O ambiente oceanográfico na plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. EDUSP, São Paulo. 11-120p.
- Cavalcanti, I.F.A. (1996) Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. In: **Climanálise especial. Edição comemorativa de 10 anos**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Resumos, INPE/INMET, p. 52-64.
- Cergole, M.C. (1995) Stock assessment of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, of the southeastern coast of Brazil. **Scientia Marina**. v.59, n.3-4, p.597-610.
- Cergole, M.C.; Valentini, H. (1994) Growth and mortality estimates of *Sardinella brasiliensis* in the southeastern Brazilian Bight. **Bolm Inst. Oceanogr.**, São Paulo. v.47, n1/2, p.113-127.
- Cergole, M.C.; Saccardo, S.A.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. (2002) Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*): 1977-1997. **Rev. Bras. Oceanogr.**, 50 (único):13-26.
- Cergole, M.C.; Ávila-da-Silva, A.O.; Rossi-Wongtschowski, C.L.B. (2005) **Análise das principais pescarias comerciais da região Sudeste-Sul do Brasil: dinâmica**

**populacional das espécies em exploração.** Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. Série documentos Revizee: Score Sul. 175p.

Chatfield, C. (1996) **The Analysis of Time Series: An introduction.** Chapman & Hall, 5 ed., NY. 283 p.

Ciotti, A.M.; Odebrecht, C.; Fillman, G.; Moller Jr., O.O. (1995) Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Cont. Shelf Res.** v.15, p.1737-1756.

Clark, C.W. (2006) **The worldwide crises in fisheries – economic models and human behavior.** Cambridge Press. 263p.

Cury, P.; Roy, C. (1989) Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas, **Ca. J. Fish. Aquat. Sci.** v.46, n.4, p.670-680.

Donlon, C.J.; Minnett, P.J.; Gentemann, C.; Nightingale, T.J.; Barton, I.J.; Ward, B; Murray, M.J. (2002) Toward Improved Validation of Satellite Sea Surface Skin Temperature Measurements for Climate Research. **J. Climate.** v.15, p.353-369.

Dourado, M.S.; Caltabiano, A.C.V. (2005) Novos conceitos na definição da temperatura superfície do mar. *In*: Ronald Buss de Souza. (Org.). **Oceanografia por Satélites.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. p.134-147.

Dundas, R.M. (1994) The measurement of sea-surface temperature in the presence of aerosol contamination with the Along Track Scanning Radiometer (ATSR). **IEEE.** v.1, p.791-794. DOI: 0-7803-2065-5

Earth System Research Laboratory / Physical Sciences Division (2007) **Climate Indices.** Disponível em : <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/list/> . Acesso em 15 de junho de 2007.

Ebisuzaki, W.; Kanamitsu, M.; Potter, J.; Fiorino, M. (1998) **An Overview of Reanalysis-2.** Resumos Climate Diagnostics Workshop, Miami, Florida. Disponível em:

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis2/cdw98\\_abs.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis2/cdw98_abs.html). Acesso em 10 de abril de 2008.

Emery, W.J.; (2006) Thomsom, R.E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands. 634p.

Emilsson, I. (1961) The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, v.17, n.2, p.101-112.

Enfield, D.B.; Mayer D.A. (1997) Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Nino-Southern Oscillation. **J. Geophys. Res.** v.102, n.C1, p.929-945. DOI: 3144, 35400006331814.0030

Francis, R.I.C.C.; Shotten, R. (1997) "Risk" in fisheries management: a review. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. v.54, p.1699–1715.

Garcia, C.. E.; Sarma, Y.V.B.; Mata, M.M.; Garcia, V.M.T. (2004) Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. **Deep Sea Res.**, Part II. v.51, p.159–172.

Gasalla, M.A.; Servo, G.J.M.; Tomas, A.R.G. (2003) Dinâmica da frota de traineiras da região de Santos, SP. *In*: Cergole, M.C.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. 2003. **Dinâmica das frotas pesqueiras – Análise das principais pescarias comerciais do Sudeste-Sul do Brasil**. Evoluir, SP. 227-250p.

Gertseva, V.V.; Gertsev, V.I. (2006) A conceptual model of fish functional relationships in marine ecosystems and its application for fisheries stock assessment. **Fisheries Research**. v.81, p.9–14. DOI:10.1016/j.fishres.2006.06.004

Gigliotti, E.S.; Sato, O.T.; Paes, E.T. (2007) **Correlação entre variáveis oceanográficas medidas por satélite e a produção pesqueira de *Sardinella janeiro* na costa sudeste-sul do Brasil**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. INPE. p.3365-3372.

- Glantz, M.H.; Feingold, L.E. (Eds.) (1990) **Climate variability, climate changes and fisheries. Summary report.** National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. 101p.
- González, L.W.; Euán, J.; Vega, M.E. (2003) **La variabilidad ambiental y su relación con la población de sardina (*Sardinella aurita*) en Venezuela.** Disponível em: [http://www.cmm.uchile.cl/scc2003/doc/ARCHIVOS\\_PDF/GONZALEZ\\_L.pdf](http://www.cmm.uchile.cl/scc2003/doc/ARCHIVOS_PDF/GONZALEZ_L.pdf). Acesso em: 10 de julho de 2008.
- Gregg, W.W. (2002) A coupled ocean-atmosphere radiative model for global cean biogeochemical models. *In*: Suarez, M.(Ed.) **Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation.** NASA, v.32, 18p. (NASA/TM-2002-104606)
- Gregg, W.W.; Casey, N.W. (2006) Modeling Coccolithophores in the Global Oceans. **Deep-sea Research. Part 2. Topical studies in oceanography.** v. 54, n.5-7, p.447-477. ISSN 0967-0645
- Grinsted, A.; Moore, J.C.; Jevrejeva, S. (2004) Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysic.** v.11, p.561–566. ID: 1607-7946/npg/2004-11-561
- Hama, L.L.; Lorenzzetti, J.A; Pinaya, W.H.D. (1991) **The use of NOAA/AVHRR data in the study of the wind driven coastal upwelling of Cab Frio.** No-Meteorological Uses of Meteorological Satellite Data Meeting. Dundee, Scotland.
- Harrison, D. E.; Larkin, N. K. (1998) El Niño-Southern Oscillation sea surface temperature and wind anomalies, 1946-1993. **Review of Geophysics.** v. 36, n.3, p.353-399.
- Hartmann, D.L.; Michelsen, M.L. (1989) Intraseasonal periodicities in Indian rainfall. **Journal of the Atmospheric Sciences.** v.46, p.2838-2862.
- Hastenrath, S.; Castro, L.C.; Aceituno, P. (1987) The Southern Oscillation in the tropical Atlantic sector. **Contrib. Atmos. Phys.** v.60, p.447-463.

- Hilborn, R.; Pikitch, E.K.; Francis, R.C. (1993) Current trends in including risk and uncertainty in stock assessment and harvest decisions. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** v.50, p.874-880.
- Hochleitner, F.; Paiva, C.M.; Rotunno Filho, O.C. (2005) **Validação da Estimativa da Temperatura da Superfície do Mar via Dados do Satélite GOES-8 utilizando dados “in-situ” do projeto PNBOIA.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, p. 3629-3632.
- IBAMA. (2000) **Relatório da reunião técnica sobre o estado da arte e ordenamento da pesca da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) nas regiões Sudeste / Sul.** IBAMA/CEPSUL, Itajaí, SC. 26p.
- IBAMA/CEPSUL. (2007) O Defeso da Sardinha. **Jornal Online CEPSUL.** Disponível em: [http://www.ibama.gov.br/cepsul/destaque\\_defeso](http://www.ibama.gov.br/cepsul/destaque_defeso). Acesso em 10 de agosto de 2007.
- Isaac Nahum, V.J.; Cardoso, R. de D.; Servo, G. e Rossi-Wongtschowski, C.L.D. (1988) Aspects of the spawning biology of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), (Clupeidae). **J. Fish. Biol.** v.32, n.3, p.383–396.
- Jablonski, S. (2003) **Modelos não paramétricos e sistemas especialistas na avaliação da influência de fatores ambientais sobre recursos pesqueiros: o caso da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*).** Tese (Doutorado). Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 152p.
- Jablonski, S. (2007) The Brazilian sardine. Is there any room for modelling? **Pan-American Journal of Aquatic Sciences.** v. 2 (2), p.86-93.
- Jacobson, L.D., De Oliveira, J.A.A., Barange, M. (2001) Surplus production, variability, and climate change in the great sardine and anchovy fisheries. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** v.58, p.1891–1903.
- Kampel, M.; Lorenzetti, J.A.; Gaeta, S.A.; Negri, E. (2004) **Comparações entre temperaturas da superfície do mar in situ e medidas por satélite na região oeste do Atlântico Sul.** II Simpósio Brasileiro de Oceanografia, IOUPS, 31 de maio a 04 de junho, 2004, São Paulo. CDROM Anais do Simpósio.



- Kampel, M.; Souza, R.B. (2005) **Observação por satélite de um vórtice de núcleo quente na Zona de Confluência Brasil-Malvinas durante a Operação Antártica XXI**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. INPE, p.3643-3650.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang, S.; Hnilo, J. J.; Fiorino, M.; Potter, G. L. (2002) NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis. **Bul. of the American Meteorological Society**, v.83, n. 11, p.1631-1643.
- Kousky, V.E. (1988) Pentad outgoing long wave radiation climatology for the South American sector. **Rev.Bras.Meteor**, v.3, p.217-231.
- Large, W.G.; Pond, S. (1981) Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. **J. Phys. Oceanogr.** v.11, p.324-336.
- Lau, K.M.; Chan, P.H. (1988): Intraseasonal and Interannual variability of tropical convection: A possible link between the 40-50 day oscillation and ENSO? **J.Atmos.Sci.** v.45, p.506-521.
- Lau, K.M.; Weng, H. (1995) Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing. **Bul. of the American Meteorological Society**. v.76, n.12, p.2391–2402.
- Leão, C. (2008) **Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila-a e temperatura da superfície do mar estimadas por satélite na Margem Continental Sudeste Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 133p. DOI: INPE-15299-TDI/1351
- Legeckis, R.; Gordon, A.L. (1982) Satellite observations of the Brazil and Falkland currents – 1975 – 1976 and 1978. **Deep Sea Res.** v.29, p.375-401.
- Legendre, P.; Anderson, M.J. (1999) Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. **Ecological Monographs**. v.69, n.1, p.1–24.

Legendre, P.; Legendre, L. (1998) **Numerical Ecology**. 2nd English ed. Elsevier Science BV, Amsterdam.

Legendre, P.; Gallagher, E.D. (2001) Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**. v.129, p.271–280. DOI 10.1007/s004420100716

Legendre, P.; Dale, M.R.T.; Fortin, M.-J.; Gurevitch, J.; Hohn, M.; Myers, D. (2002) The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. **Ecography**. v.25, p.601–615.

Legendre, P.; Bocard, D.; Peres-Neto, P.R. (2005) Analyzing beta diversity: partitioning the special variation of community composition data. **Ecological Monographs**. v.75, n.4, p.435–450.

Lehodey, P. *et al.* (2006) Climate Variability, Fish, and Fisheries. **J. Climate**. v.19 n.20, p.5009–5030.

Lentini, C.A.D.; Podestá, G.P.; Campos, E.J.D. (2000) The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature on the western South Atlantic shelf. **Rev. Bras. Oceanogr.** v.48, p.93–105.

Lentini, C.A.D.; Podestá, G.G.; Campos, E.J.D.; Olson, D.B. (2001) **Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994**. Elsevier Preprint.

Lentini, C.A.D.; Olson, D.B. ; Podestá, G.P. (2002) Statistics of Brazil Current rings observed from AVHRR: 1993 to 1998. **Geophys. Res. Lett.** v.29, n.16, p.1811. DOI:10.1029/2002GL015221.

Lentini, C.A.D.; De Almeida, R.A.F.; Pezzi, L.P.; Souza, R.B. (2006) **Short-term climate variability in the Southeastern South America**. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, INPE, p.277-282.

Little, J.; Shure, L. (1992) **Signal processing toolbox for use with MATLAB**. 1. ed. Natick, MA. Mathworks. User's Guide.

- Lluch-Cota, D.B.; Wooster, W.S.; R. Hare, S.R.; Lluch-Belda, D.; Parés-Sierra, A. (2003) Principal Modes and Related Frequencies of Sea Surface Temperature Variability in the Pacific Coast of North América. **J. of Oceanography**. v.59, p.477-488.
- Longhurst, A.R.; Wooster, W.S. (1990) Abundance of oil sardine (*Sardinella longiceps*) and upwelling on the southwest coast of India . **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** v.47, p.2407-2419.
- López, R.C.; Rodriguez, R.; Garcia, C.A.; Sabatés, S. (2006) Climatic signals in growth and its relation to ENSO events of two *Prosopis* species following a latitudinal gradient in South America. **Global Change Biology**. v.12, p.897-906. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01138.x
- Lorenzetti, J.A.; Gaeta, S.A. (1996) **The Cape Frio upwelling effect over the South Brazil Bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images**. Proceedings XXIV Symposium International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna. XXXI International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. p.448-453. 1996.
- Mackenzie, B.R.; Koster, F.W. (2004) Fish Production and Climate: Sprat in the Baltic Sea. **Ecology**. v.85, n.3, p.784–794.
- Magro, M.; Cergole, M.C.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. (2000) **Síntese de conhecimentos dos principais recursos pesqueiros costeiros potencialmente explotáveis na costa sudeste-sul do Brasil: Peixes**. Programa REVIZEE. MMA. CIRM. 145p.
- Mann, K.H.; Lazier, J.R.N. (2006) **Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans**. 3rd ed. Blackwell Pub. 394p.
- Martinez, R.O.; Pinaya, W.H.D. (2009) Diagnóstico de acceso a datos y documentación científica del Centro Control Contaminación del Pacífico. Sommer, M. 2009. **Acceso libre a la gestión de la información científica marina**. Oceanógrafos Sin Fronteras. 55p. (no prelo)
- Marton, E. (2000) **Oscilações Intrasazonais Associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste Brasileiro**. Tese de Doutorado em Meteorologia, IAG/USP, São Paulo (SP).

- Matsuura, Y. (1975) A study of the history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. II. Spawning in 1970 and 1971. **Bolm Inst. Oceanogr.**, São Paulo. v.24, p.1–16.
- Matsuura, Y. (1977) A study of the life history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. IV. Distribution and abundance of sardine larvae. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, São Paulo. v.26, p.219– 247.
- Matsuura, Y. (1979) Distribution and abundance of eggs and larvae of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, during 1974 – 75 and 1975 – 76 seasons. Bull. **Jap. Soc. Fish. Oceanogr.** v.34, p.1–12.
- Matsuura, Y. (1983) **Estudo comparativo das fases iniciais do ciclo de vida da sardinha – verdadeira, *Sardinella brasiliensis* e da sardinha – cascuda, *Harengula jaguana* (Pisces: Clupeidae), e nota sobre a dinâmica da população da sardinha – verdadeira na região sudeste do Brasil.** Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 150p.
- Matsuura, Y. (1988) **Synopsis on the reproductive and early life history of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, and related environmental conditions.** IOC Workshop Report (65), Annex VIII. 8p.
- Matsuura, Y. (1996) A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine *Sardinella aurita* population during 1974/75 spawning season. v.17, p.29-35.
- Matsuura, Y. (1998) Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. **Rev. Bras. Oceanogr.** v.46, n.1, p.33-43.
- Matsuura, Y. (1999) Large scale fluctuations of small pelagic fish populations and climate change: A review. **Bulletin of the Tohoku National Fisheries Research Institute.** v.62, p.1-11.
- McAllister, M.; Kirchner, C. (2002) Accounting for structural uncertainty to facilitate precautionary fishery management: illustration with Namibian orange roughy. **Bul. of Marine Science.** v.70, p.499-540.

MDIC/SDP. (2007) **Ações Setoriais para o Aumento da Competitividade da Indústria Brasileira**. Cap XVII – Pesca. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Desenvolvimento da Produção. 9p.

Ménard, F.; Marsac, F.; Bellier, E.; Cazelles, B. (2007) Climatic oscillations and tuna catch rates in the Indian Ocean: a wavelet approach to time series analysis. **Fisheries Oceanography**. v.16, n.1, p.95-104.

Milligan, G.W.; Cooper, M.C. (1987) Methodology review: Clustering methods. **Applied Psychological Measurement**. v.11, p.329-354.

Morenttin, P.A. (1999) **Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas**. 1. ed. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo. 276p. ISBN 8531405092.

Moura, A.D.; Shukla, J. (1981) **On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model**. v.38, n.7, p.2653-2675.

Myers, R.A. (1998) When do environment-recruitment correlations work? **Reviews in Fish Biology and Fisheries**. v.8, p.285-305.

National Oceanographic Data Center (NODC-NOAA). (2007) **Multivariate ENSO Index (MEI)**. Disponível em: < <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>>. Acesso em 05 Julho 2007.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2000) **NOAA KLM User's Guide**. Disponível em: < <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3-1.htm>>. Acesso em 18 Março 2007.

Nobre, C.A. (1988) Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**. v.3(4), p.30-33.

Nobre, P.; Shukla, J. (1996) Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **J. Climate**. v.10, n.4, p.2464-2479.

NODC/SOG (2006) **4 km Pathfinder Version 5.0 User Guide**. NOAA Satellite and Information Service, National Oceanographic Data Center, NODC Satellite Oceanography Group. Disponível em: <<http://www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/userguide.html>>. Acesso em 25 Abril 2007.

Oliveira, E.N. (2001) **Estimativas de correntes oceânicas superficiais pelo método da máxima correlação cruzada**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 102p. (INPE-9583-TDI/839).

Oliveira, F.S.C. (2005) **Estimativa de captura do bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*) na costa sudeste do Brasil usando um modelo estatístico e dados de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos. 107p.

Oliveira, F.S.C.; Gherardi, D.F.; Stech, J.L. (2005) **Uso de dados de sensores remotos no prognóstico da pesca do bonito listrado na costa sudeste-sul brasileira**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, p.3667-3669.

Olson, D.B.; Podestá, G.P.; Evans, R.H.; Brown, O.B. (1988) Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents. **Deep Sea Res.** v.35, p.1971–1990.

Paes, E.T.; Soppa, M.A.; Souza, R.B. (2006) **Covariações entre os desembarques da sardinha-verdadeira - *Sardinella janeiro* (Eigenmann, 1894) em seus extremos de ocorrência na plataforma sudeste brasileira e anomalias de temperatura da superfície do mar estimadas por satélite**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Paes, E.T.; Peres, M.B.; Souza, R.B.; Bento, J.P. (2007) **Variações interanuais dos desembarques da tainha (*Mugil platanus*) na costa do Rio Grande do Sul, Brasil: relações com índices locais e globais da temperatura superficial do mar**. VII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar - COLACMAR.

Pauly, D. (1980) On the relationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. **J. Cons. Int. Explor. Mer.** v.39, n.2, p.409–434.

- Pezzi, L.P.; Cavalcanti, I.F.A. (2001) The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**. v.17, p.205-212.
- Pezzi, L.P.; Souza, E.B. (2005) O uso da temperatura da superfície do mar em estudos climáticos. *In*: Souza, R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. 1 ed. Oficina de Textos, São Paulo, p.117-133.
- Piola, A.R. (2005) The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**. v.32, n.1. L01603
- Piola, A.R.; Campos, E.J.D.; Moller Jr., O.O.; Charo, M.; Martinez, C. (2000) Subtropical Shelf Front off eastern South America. **J. Geophysical Research**. v.105, p.6565–6578.
- Podestá, G.P. (1997) Utilización de datos satelitarios en investigaciones oceanográficas y pesqueras en el Océano Atlántico Sudoccidental. *In*: Boschi, E.E. (Ed.), **El mar argentino y sus recursos pesqueros, Tomo 1, Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales**. INIDEP, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Mar del Plata, Argentina.
- Podestá, G.P.; Brown, O.B.; Evans, R.H. (1991) The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature in the southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Climate**. v. 4, p.457-467.
- Polikar, R. (2001) **The story of wavelets**. Disponível em:< [http://www.bo.infn.it/~masotti/Papers/wavelets\\_story.pdf](http://www.bo.infn.it/~masotti/Papers/wavelets_story.pdf)>. Acesso em 10 Julho de 2007.
- Provost, C.; Garcia, O.; Garçon, V. (1992) Analysis of satellite sea surface temperature time series in the Brazil-Malvinas Current Confluence region: Dominance of the annual and semiannual periods. **Journal of Geophysical Research**, v. 97(C11), p. 17841-17858.
- Reboita, M.S. (2004) **Elementos da Variabilidade Climática no Extremo Sul do Brasil, no Período de 1990 a 2001**. Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal Do Rio Grande – FURG, Rio Grande, RS.

- Reynolds, R.W.; Smith, T.M. (1994) Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. **J. Climate**. v.7, p.929-948.
- Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B.; Saccardo, S.A.; Cergole, M.C. (1995) **Situação do estoque da sardinha (*Sardinella brasiliensis*) no litoral sudeste e sul do Brasil**. IBAMA/CEPSUL, v.17, 45p. Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Pesca.
- Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B.; Saccardo, S.A.; Cergole, M.C. (1996) Are fluctuations in Brazilian sardine catches related to global-scale climatic changes? **An. Acad. Bras. Ci.** v.68, supl. 1, p.239-250.
- Royal Society. (2005) Ocean acidification due to increasing atmosphere carbon dioxide. **Royal Society Policy Doc**. v.12, n.05.
- Saccardo, S.A.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B.; Cergole, M.C. e Bittencourt, M.M. (1988) Age and growth of the Southeastern Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, 1981–83. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, São Paulo. v.36, n.1, p.17–35.
- Saccardo, S.A.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. (1991) Biologia e avaliação do estoque da sardinha *Sardinella brasiliensis*: uma compilação. **Atlântica**, Rio Grande. v.13, n.1, p.29–43.
- Saravanan, R.; Chang, P. (2000) Interaction between Tropical Atlantic Variability and El Niño–Southern Oscillation. **J. Climate**. v13, n.13, p.2177–2194. 2000. DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<2177:IBTAVA>2.0.CO;2
- Schwartzlose, R.A.; Alheit, J.; Bakun, A.; Baumgartner, T.R.; Cloete, R.; Crawford, R.J.M.; Fletcher, W.J.; Green Ruiz, Y.; Hagen, E.; Kawasaki, T.; Lluch-Belda, D.; Lluch-Cota, S.E.; MacCall, A.D.; Matsuura, Y.; Nevarez-Martinez, M.O.; Parrish, R.H.; Roy, C.; Serra, R.; Shust, K.V.; Ward, M.N.; Zuzunaga, J.Z. (1999) *Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations*. **S. Afr. J. Mar. Sci.** v.21, p.289-347.
- Schwingel, P.R.; Occhialini. (2003) Descrição e dinâmica de frota de traineiras no porto de Itajaí (SC) entre 1997 e 1999. *In*: Cergole, M.C. e Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B.



**Dinâmica das frotas pesqueiras – Análise das principais pescarias comerciais do Sudeste-Sul do Brasil.** Evoluir, SP. p.51-282.

Servain, J. (1991) Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. **J. Geophys. Res.** v.96, p.15137-15146.

Sindermann, C.J. (1995) **Ocean Pollution.** C&C Press, Boca Raton, Florida.

Smith, W.L.; Knuteson, R.O.; Revercomb, H.E.; Feitz, W.; Howell, H.B.; Menzel, W.P.; Nalli, N.R. Brown, O.; Brown, J.; Minnett, P.; McKeown, W. (1996) Observations on the infrared radioactive properties of the ocean – Implications for the measurement of sea surface temperature via satellite remote sensing. **Bul. of the American Meteorology Society.** v.77, n.1, p.41-51.

Somoza, R.D.; Kampel, M.; Souza, R.B.; Cobas, S. (2006) Variabilidad de la temperatura superficial del mar obtenida a partir de imágenes AVHRR y su relación con las pesquerías de langosta (*Panulirus argus*) en las aguas Cubanas (1997-2004). **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** v.1, n.1.

Soppa, M.A. (2007) **Caracterização da variabilidade climática nos ecossistemas recifais brasileiros e sua relação com a biodiversidade de corais.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 107p.

Soppa, M.A.; Gherardi, D.F.M.; Souza, R.B.; Pezzi, L.P. (2006) **Variabilidade temporal da temperatura superficial do mar e vento estimados por satélites e reanálises em áreas de recife de coral no Brasil.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Souza, E.B.; Nobre, P. (1998) Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical. **Rev. Brasil Meteorol.** v.13, n.1, p.20-35.

Souza, E.B.; Kayano, M.T.; Ambrizzi, T. (2005) Intraseasonal and submonthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brasil during the autumn rainy season. **Theor. Appl. Climatol.** v.81, n.3-4, p.177-191. DOI 10.1007/s00704-004-0081-4.

Souza, E.B.; Kayano, M.T.; Tota, J.; Pezzi, L.; Fisch, G.; Nobre, C. (2000) On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical. **Acta Amazonica**. v.30, n.2, p.305-318.

Souza, R.B. (2000) **Satellite and Lagrangian observations of mesoscale surface processes in the Southwestern Atlantic Ocean**. Tese (Doutorado). University of Southampton, Southampton, UK. 239p.

\*Souza, R.B. 2005. \*(Org.) **Oceanografia por Satélites**. 1. Ed. Oficina de Textos, São Paulo. 336p.

Souza, R.B.; Robinson, T.S. (2004) Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**. v.24, p.241–262.

Souza, R.B.; Lorenzzetti, J.A.; Lucca, E.V.D. (2005) Estimativas da temperatura da superfície do mar através de sensoriamento remoto no infravermelho. *In*: Souza, R.B. **Oceanografia por Satélites**. Oficina de Textos. p.102-116.

Souza, R.B.; Cromwell, D.; Lentini, C.A.D. (2006a) **Complex EOF and wavelet analysis of sea surface temperature anomaly images in the Southwestern Atlantic Ocean from 1985 to 2004**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Souza, R.B.; Cromwell, D.; Lentini, C.A.D.; Campos, E.J.D. (2006b) **Variabilidade dos campos de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sudoeste a partir de 20 anos de dados de satélite**. XIV Simpósio Brasileiro Sobre Pesquisa Antártica, 2006, São Paulo. Anais do XIV Simpósio Brasileiro Sobre Pesquisa Antártica.

Souza, R.B.; Cromwell, D.; Lentini, C.A.D. (2007) **Complex EOF and wavelet analysis of sea surface temperature anomaly images in the Southwestern Atlantic Ocean from 1985 to 2004**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4727-4734.

Stech, J.L.; Lorenzzetti, J.A. (1992) Response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. **J. Geophysics Research**. v.97, n.C6, p.9507-9520.

- Steindachner, F. (1879) Über einige neue und seltene Fischarten aus den zoologischen Museen zu Wien, Stuttgart und Warschau. **Anz. Akad. Wiss. Wien.** v.16, p.29-34.
- Stenseth, N.C.; Mysterud, A.; Ottersen, G.; Hurrell, J.W.; Chan, K.-S.; Lima, M. (2002) Ecological Effects of Climate Fluctuations. **Science.** v.297, n.5585, p.1292–1296. DOI: 10.1126/science.1071281
- Stevenson, M.R.; Brito, D.D.; Stech, J.L.; Kampel, M. (1998) How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? **Cont. Shelf Res.** v.13, p.1595-1612.
- Sunyé, P.S. (1999) **Effet de la variabilité climatique régionale sur la pêche de la sardinelle le long de la côte sud-est du Brésil (1964-1993)**. Tese Doutorado. Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, 130 p.
- Sunyé, P.S.; Servain, J. (1998) Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. **Fisheries Oceanography.** v.7, n.2, p.89–100.
- Taschetto, A.S.; Wainer, I. (2002) Estudo climatológico dos parâmetros de superfície marinha no Atlântico Sudoeste. **Revista Brasileira de Meteorologia.** v.17 (1-2), p.229-242.
- ter Braak, C.J.F.; Smilauer, P. (2002) **CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)**. Microcomputer Power, Ithaca NY. 352 p.
- Teixeira, C.E.P. (2006) **Caracterização e variabilidade da hidrodinâmica da zona costeira adjacente ao Banco de Abrolhos**. Dissertação (Mestrado Oceanografia Física). Inst. Oceanogr., Universidade de São Paulo. 109p.
- Thompson, D.W.J.; Wallace, J.M. (2000) Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. **J. Climate.** v.13, n.5, p.1000–1016. DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<1000:AMITEC>2.0.CO;2

- Tokinaga, H.; Tanimoto, Y.; Shang-Ping Xie. (2005) SST-induced surface wind variations over the Brazil/Malvinas Confluence: Satellite and in-situ observations. **J. Climate**. vol. 18, nº17, p. 3470-3482. DOI: 9644 B, 35400013204707.0040
- Tomczak, M.; Godfrey, J.S. (2001) **Regional Oceanography: an introduction**. Disponível em: <[www.lei.furg.br/ocfis/mattom/regoc/pdfversion.html](http://www.lei.furg.br/ocfis/mattom/regoc/pdfversion.html)> . Acesso em 09 de agosto de 2007.
- Torrence, C.; Campo, J.P. (1998) A practical guide to wavelet analysis. **Bul. of the American Meteorological Society**. v.79, n.1, p.61-78. Disponível em: <<http://paos.colorado.edu/research/wavelets>> . Acesso em 15 de abril de 2008.
- UNIVALI/CTTMar. (2007) **Boletim estatístico da pesca industrial de Santa Catarina - Ano 2006**. Itajaí, Santa Catarina. 95p.
- Vakily, J.M. ; Pauly, D. (1995) **Seasonal movements of *Sardinella* off Sierra Leone**. In: Bard, F.X.; Koranteg, K.A. (ed). **Dynamics and Use of *Sardinella* Resources from Upwelling off Ghana and Ivory Coast**. ORSTOM, Paris. p.426–436.
- Vazzoler, A.E. et al. (1987) Estudos sobre estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre 22°S e 28°S, Brasil. IV. Crescimento: aspectos quantitativos. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, S. Paulo. v.35, n.1, p.53-63.
- Venegas, S.A.; Mysak, L.A.; Straub, D.N. (1997) Atmosphere-ocean coupled variability in the South Atlantic. **J. Clim.** v.10 (11), p.2904-2920.
- Vigan, X., C. Provost, and G. P. Podesta. (2000) Sea surface velocities from sea surface temperature image sequences: 2. Application to the Brazil Malvinas Confluence area. **J. Geophys. Res.** v.105, p.19515–19534.
- Walters, C.J.; Martell, S.J.D. (2004) **Fisheries Ecology and Management**. Princeton University Press.

- Walton, C.C. (1988) Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data. **J. Applied Meteorology**. v.27, p.115-124. DOI: 1520-0450-27-2-115.
- Wainer, I.; Taschetto, A.S. (2006) Climatologia na região entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chui (RS). Diagnostico pára os períodos relativos aos levantamentos pesqueiros do Programa REVIZEE. p.121-160, *in*: Rossi-Wongtschowski C.L. & L.S-P.Madureira (Eds), **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. EDUSP, São Paulo.
- Wilks, D. S. (1995) **Statistical methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, NY. 468p.
- Wolter, K.; Timlin, M.S. (1998) Measuring the strength of ENSO – how does 1997/98 rank? **Weather**. v.53, p.315-324. <http://www.cdc.noaa.gov/people/klauswolter/MEI/mei.html>
- Wongtschowski, C.L.D.B.; Wenzel, M.S.M.T.; OLIVEIRA, M.A. (1988) **PIEBS – Programa Integrado de Estudos Biológicos sobre sardinha. II – Caracterização macro e microscópica das gônadas, tipo de desova, ciclo reprodutivo e fecundidade**. Resumos Simpósio da Fundação Universidade do Rio Grande sobre Pesquisa Pesqueira, Rio Grande. p.44.
- Wongtschowski, C.L.D.B.; Saccardo, S.A. (1991) Distribuição e abundância da sardinha e da anchoita na região sudeste do Brasil: outubro – novembro, 1988. **Publicação Esp. Inst. Oceanogr.** Universidade de São Paulo, S. Paulo. v.8, p.50.
- Yamasaki, Y; Oliveira, A; Carvalheiro, LC; Manso, M.D. (2006) **Processamento TOVS e Aplicações em Mesoescala**. XXIX Jornadas Científicas de la AME y del 7º Encuentro Hispano-Luso. Disponível em : [http://www.ame-web.org/JORNADAS/O12-trabajo\\_Yamasaki\\_et\\_al-2.pdf](http://www.ame-web.org/JORNADAS/O12-trabajo_Yamasaki_et_al-2.pdf). Acesso em julho de 2007. ISBN-13:978-84-611-1490-0.
- Zagaglia, C.R. (2003) **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à pesca de atuns no Atlântico oeste equatorial**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto de Pesquisas Espaciais. 180p. (INPE-9862-TDI/869).

## APÊNDICE A

Tabela A.1 – Região Q1 : (a) Média da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s; (b) Desvio padrão mensal da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s. Período considerado de 1985 a 2007.

(a) Média Climatológica			
	TSM	Comp u	Comp v
Jan	25,16	-3,12	-0,29
Fev	25,50	-2,64	-0,34
Mar	25,31	-2,65	0,05
Abr	23,99	-1,73	-0,03
Mai	21,62	-0,23	0,10
Jun	20,17	0,20	-0,87
Jul	19,29	-0,37	-0,75
Ago	19,77	-1,38	-1,05
Set	20,32	-3,02	-0,06
Out	21,48	-3,42	-0,08
Nov	22,62	-3,40	0,13
Dez	24,05	-3,26	-0,14

(b) Desvio Padrão			
	TSM	Comp u	Comp v
Jan	0,42	0,86	0,88
Fev	0,54	0,70	1,35
Mar	0,59	0,68	1,01
Abr	0,64	0,94	0,65
Mai	0,59	0,96	1,19
Jun	0,78	1,03	0,71
Jul	0,77	1,16	1,08
Ago	0,66	0,87	0,93
Set	0,58	0,93	0,62
Out	0,54	0,74	0,75
Nov	0,48	0,79	0,77
Dez	0,41	0,78	0,59

Tabela A.2 – Região Q2 : (a) Média da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s; (b) Desvio padrão mensal da climatologia da TSM, em °C e dos componentes u e v da velocidade do vento, em m/s. Período considerado de 1985 a 2007.

Média Climatológica			
	TSM	Comp u	Comp v
Jan	24,66	-2,56	-0,08
Fev	24,86	-2,23	-0,23
Mar	24,64	-2,41	0,29
Abr	23,49	-1,95	0,30
Mai	21,16	-0,89	0,21
Jun	19,80	-0,63	-0,68
Jul	19,13	-1,20	-0,34
Ago	19,97	-2,03	-0,39
Set	20,75	-3,28	0,55
Out	21,77	-3,44	0,57
Nov	22,55	-3,29	0,64
Dez	23,77	-2,86	0,18

Desvio Padrão			
	TSM	Comp u	Comp v
Jan	0,45	0,78	0,84
Fev	0,59	0,56	1,13
Mar	0,61	0,64	0,81
Abr	0,61	0,49	0,51
Mai	0,58	0,67	0,80
Jun	0,80	0,84	0,61
Jul	0,84	0,78	0,90
Ago	0,74	0,69	0,72
Set	0,67	0,67	0,45
Out	0,65	0,53	0,56
Nov	0,54	0,65	0,54
Dez	0,44	0,79	0,53

## APÊNDICE B

### POLÍTICA E MANEJO DE RECURSOS PESQUEIROS

Grande parte da crise global na pesca marinha foi devido à crise na gestão da pesca. Infelizmente, a teoria econômica da pesca comercial é mal compreendida. Muitos programas de gerenciamento pesqueiro não atingiram seu objetivo conservar os estoques de peixes. Atualmente tais programas buscam reduzir o esforço e aumentar rendimentos acompanhados invariavelmente pela expansão da capacidade da pesca. Normalmente, esses programas requerem uma legislação específica para exercer o controle, sobre o recurso pesqueiro.

O poder público tem a responsabilidade da formulação da política pesqueira, e assegurar que os recursos estejam controlados para benefícios socioeconômicos de longo prazo (sustentabilidade, rentabilidade, equidade). Os grupos de análises científicas e econômicas trabalham em conjunto para formular recomendações para o corpo de gerência. Por outro lado, a indústria fornece dados biológicos (desembarque, esforço) e dados econômicos (rendimento, custo) aos dois grupos de trabalho. Falta de profissionais especializados (expertises) da área pesqueira, dificultando a operacionalidade em muitas estruturas de gerência.

Pesquisadores ligados à pesca nem sempre foram bem sucedidos quanto as suas decisões tomadas de forma convincente (geralmente políticas) para adotar restrições a atividade pesqueira para impedir a exploração excessiva desses recursos, podendo levar a um colapso da pesca. Tem sido recomendado que decisões sobre gestão pesqueira devam ser baseadas em modelos de multiespécies ou de ecossistema (PIKITCH *et al.*, 2004). Somado ao grau da complexidade destes modelos é previsto deve-se considerar outros aspectos realistas, como por exemplo, a não homogeneidade espacial e flutuações ambientais.

Análise de decisão é um sofisticado método que incorpora o risco e a incerteza em decisões de gerenciamento. A gestão de riscos exige não somente a avaliação de risco, mas a determinação específica do responsável pelas decisões do grau de aceitação do risco. Segundo Clark (2006) dois tipos de riscos podem ser considerados na pesca: a) riscos sobrepesca, conduzindo à temporária perda de produtividade, ou a um colapso da



pesca com perda a longo prazo ou permanente de produtividade. b) riscos de perda da funcionalidade do ecossistema, incluindo a degradação ou a destruição do habitat, a mudança da estrutura do ecossistema, e a perda de biodiversidade, podendo haver mudança irreversível do sistema (JACKSON *et al.*, 2001).

Gerência robusta é um termo definido por Charles (2001) como sendo uma gerência razoavelmente bem sucedida em seus objetivos sociais, mesmo se: (a) nossa compreensão da pesca, seu ambiente e os processos de mudança temporal, seja incorreta, e/ou (b) a atual capacidade de controlar a atividade pesqueira seja altamente imperfeita.

Os métodos analíticos de decisão são usados em avaliação de estoques e em modelos de avaliação, mas ainda não são empregados para determinar objetivos na gerência pesqueira ou na base de decisões de risco, bem como, benefícios previstos. O pleno profissionalismo na gestão pesqueira marinha, com objetivos de sustentabilidade e de rentabilidade, provavelmente exigirá a reformulação detalhada das instituições e de técnicas envolvidas no gerenciamento pesqueiro.

## **APÊNDICE C**

### **GESTÃO DE ACESSO LIVRE A INFORMAÇÃO (OPEN ACCESS)**

O Acesso Aberto (Open Access – OAI) tem o objetivo de compartilhar informações entre repositórios de dados. Através do OAI, é possível melhorar precisão de consultas e reduzir o tempo de busca de dados.

Acesso a informação se converteu num direito humano. Acesso universal não somente é ter programas e tecnologias desenvolvidas mas também considerar aspectos culturais dos povos em seu caráter individual e comunitário (MARTINEZ E PINAYA, 2009).

A tecnologia mudou a forma de se trabalhar com a informação. Os resultados de pesquisas devem ser livremente acessíveis por toda a comunidade científica. Pode parecer que o acesso aberto é uma opção apenas para a preservação digital nas ciências. Entretanto, muitas iniciativas no acesso aberto são baseadas somente no desejo da acessibilidade.

Deve-se ter um conjunto integrado de elementos conceituais, políticos, normas, processos, recursos humanos e tecnologias que articulam a informação ambiental marinha costeira gerada, administrada e/ou requerida em âmbito local, regional ou nacional.

Estruturar um sistema administrador de dados estruturados que abrange conjuntos de dados temáticos específicos; uma base cartográfica das áreas costeiras, marinhas e oceânicas de interesse; geologia, geomorfologia, batimetria; subsistemas que acoplam informações obtidas durante as pesquisas com seus componentes georeferenciados; suporte ao conhecimento da diversidade biológica; informação sobre ecologia trófica e pesqueira; suporte ao monitoramento de trabalhos de campos dos ambientes marinhos; rede de monitoramento de qualidade ambiental das águas marinhas e costeiras; observações dos oceânicos e clima; suporte aos processos de prospecção, evolução da produtividade e uso dos recursos pesqueiros; monitoramento de variáveis ambientais bióticas e abióticas a partir de sensores remotos; coleção de metadados para dados biológicos, ambientais, sensores remotos, cartográficos.

A aplicação de metadados geralmente é controlada pelo uso esquemas e especificações. Martinez e Pinaya (2009) indicam a importância quanto a utilização de metadados com determinadas especificações, para que sejam inter operáveis com outras instituições, simplificando sua utilização e recuperação.

Um conjunto de sistemas, que integra processos e temáticas por meio de desenvolvimento e base de dados particulares em cada nível da informação, que poderia ser dividido em: i) módulo de análise integrada de zonas costeiras - com objetivo de apoiar os processos de ordenamento costeiro em qualquer escala, integrando dados provenientes de diferentes áreas do conhecimento de acordo com o conceito geral de Manejo Integrado de Zonas Costeiras; ii) módulo de indicadores ambientais - informação ambiental da maior importância comparável em escalas previamente estabelecidas e iii) armazenamento de dados e desenvolvimento de ferramentas OLAP – dados agrupados em múltiplas dimensões para identificar tendências ou relações entre as variáveis.

Esse sistema serve como suporte para as decisões de manejo ambiental em zonas marinhas e costeiras pelo acesso livre a diversos recursos digitais, apóia a geração do conhecimento, a tomada de decisões e a gestão orientada ao desenvolvimento sustentável que favoreça a participação da cidadania.

O nível de integração da informação é entendido como a síntese de informação de diversas fontes num entorno aberto de intercambio de informação, donde a partir de informação de nível básico (dados) e informação processada (indicadores, índices, informes, etc.) se podem gerar diferentes níveis de análise e construir diversos tipos de ferramentas que serve como apoio a gestão não apenas dos recursos naturais, mas também do ambiente em seu conceito más amplo.

Com o aumento do número e volume de banco de dados, aumenta a importância da qualidade de dados, já que baixa qualidade de dados significa informações imprecisas, incompletas ou até fictícias. Registros duplicados ou aproximados, são um dos principais problemas em qualidade de dados e sua detecção tem sido alvo de muitas pesquisas nos últimos anos.

A qualidade de dados se refere a descrição de um dado completo, consistente, exato e preciso; garantindo que os dados cumpram as necessidades da pesquisa onde serão utilizados.

A utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode minimizar a dificuldade de manipular grande volume de dados, pois permite fazer complexas análises ao integrar dados de diversas fontes e criar um banco de dados georeferenciados. O SIG permite a entrada, armazenamento, manejo e visualização de dados geograficamente referenciados; uma superposição de mapas de Informação e transformar os dados em informação. Todo dado espacial pode ser convertido em informação visando tomada de decisões. A confiabilidade e eficácia dos resultados obtidos por pesquisas pesqueiras e o uso de SIG dependerá de alguns fatores como: a confiança dos dados ingressados; a competência e capacitação do grupo de investigação na utilização do SIG e experiência em estudos de avaliação pesqueira (BARBOSA, 2000). Outras ferramentas desenvolvidas que podem usadas para esse mesmo fim são o SPRING e o VisQMD que auxilia na compreensão e análise do ambiente marino.

Quando buscamos uma gestão racional para os recursos pesqueiros, devemos ter todos os dados disponíveis como acesso aberto (OA), independente da metodologia empregada, para que possam ser tomadas rápidas decisões para uma política pesqueira adequada, garantindo o progresso da ciência e interligando o meio científico com a sociedade civil e o poder público.

## APÊNDICE D

### D.1 – Variabilidade Climática Marinha

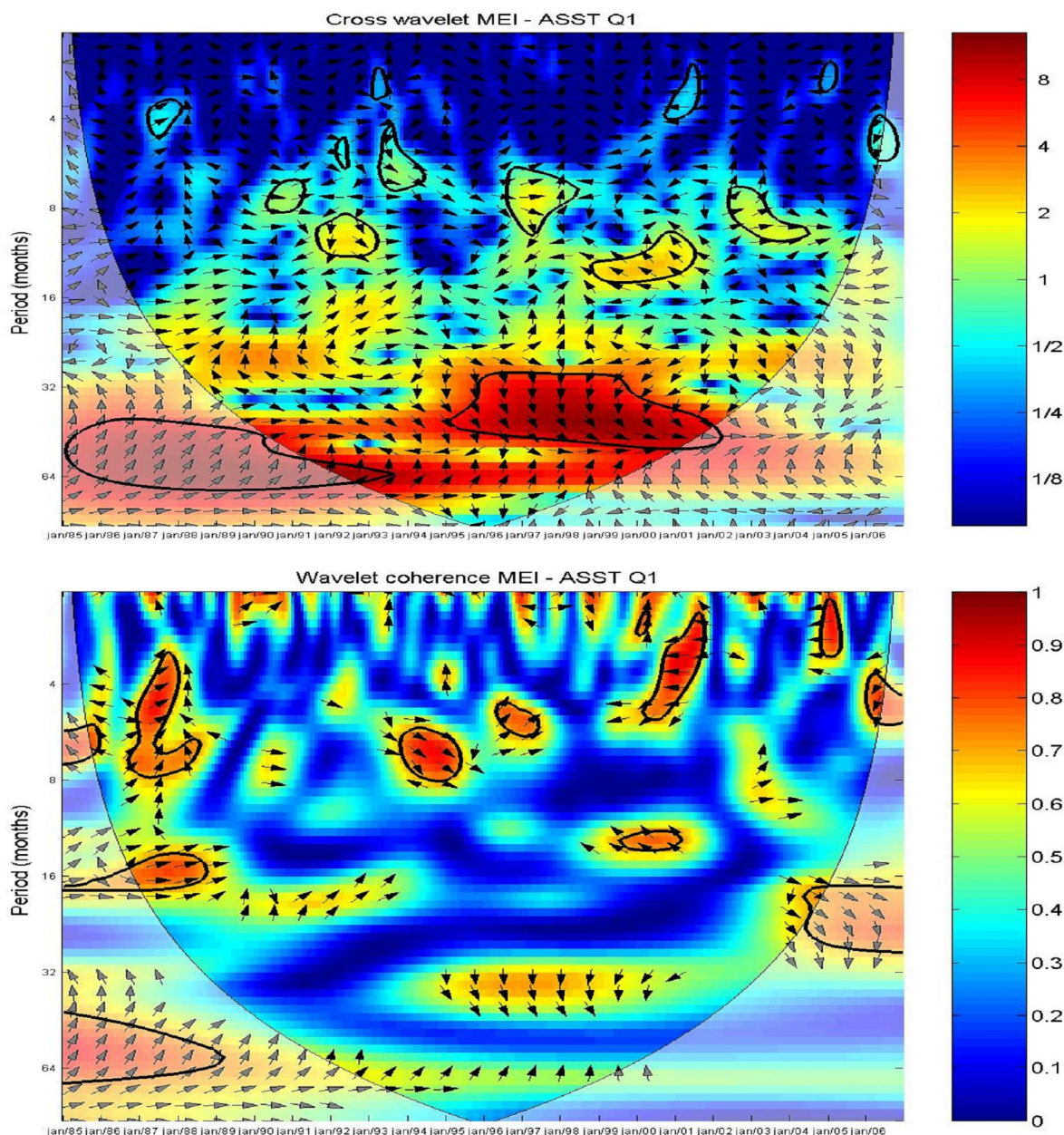


Figura D1 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice MEI e ATSM da área Q2. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM conduzindo a MEI em 90°, apontando para baixo; MEI conduzindo ATSM em 90°, apontando para cima.



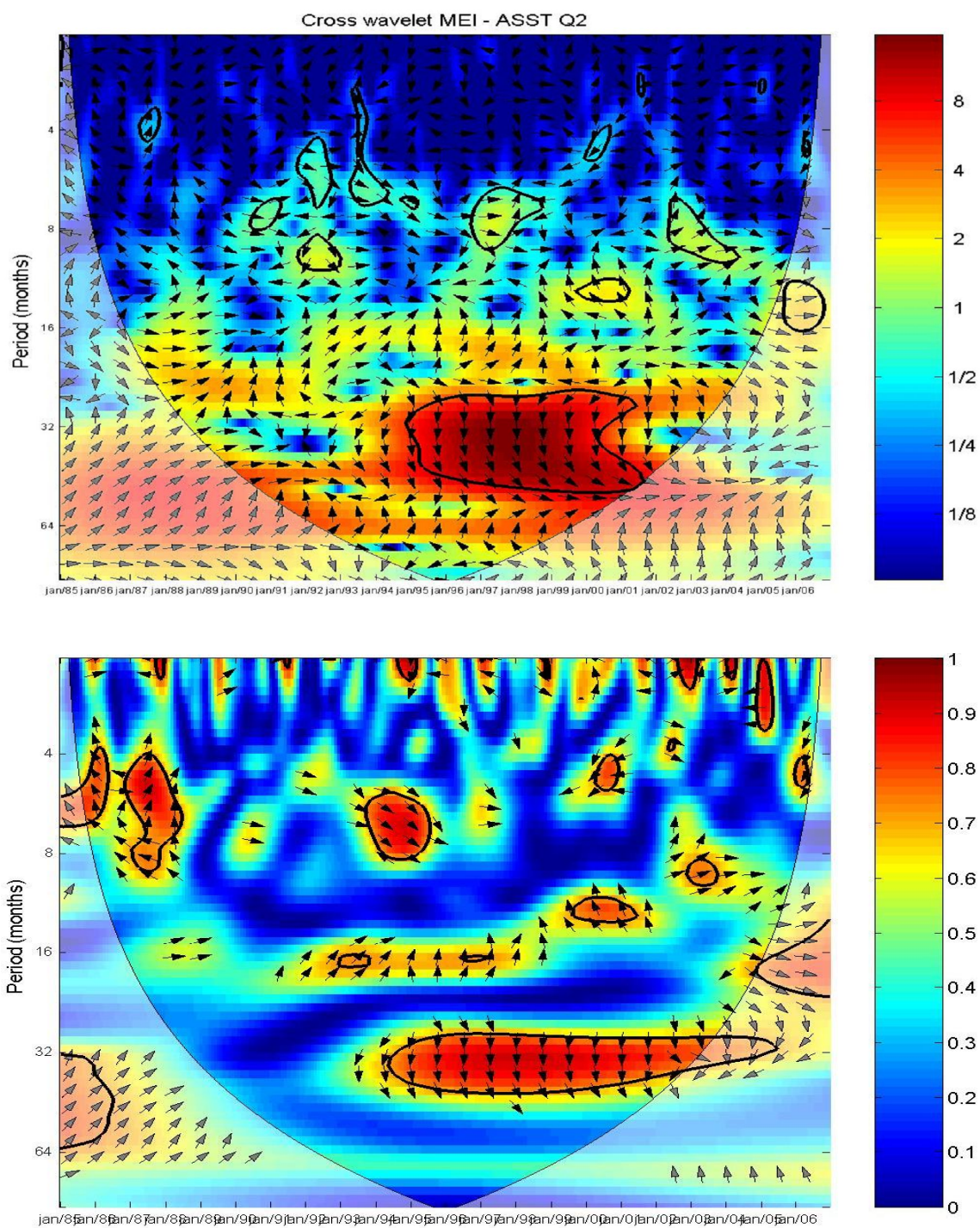


Figura D2 – Idem à Figura D1a e D1b, mas para a componente ATSM da área Q2.



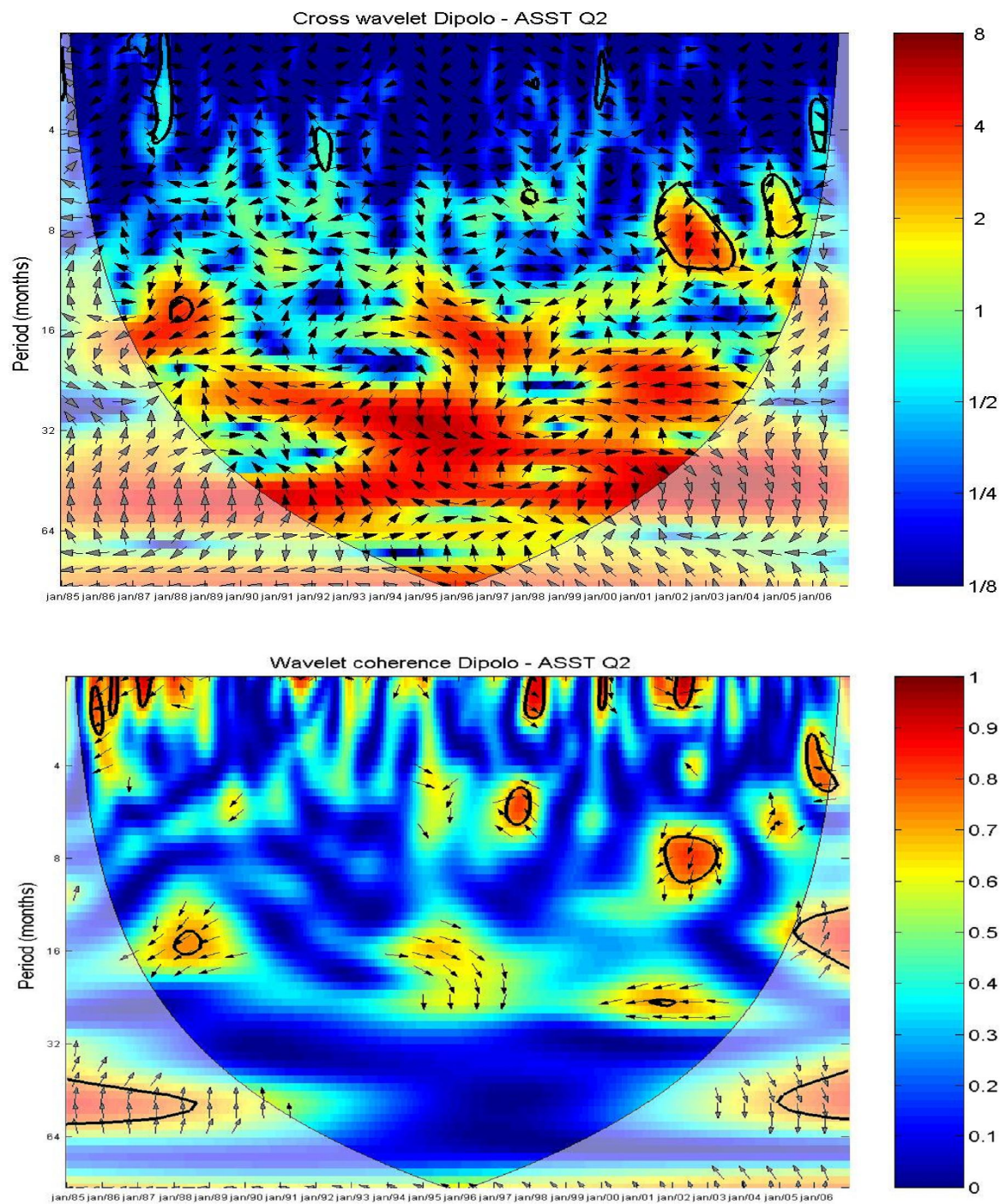


Figura D3 – Idem à Figura D1a e D1b, mas para o índice GITA e ATSM da área Q2.



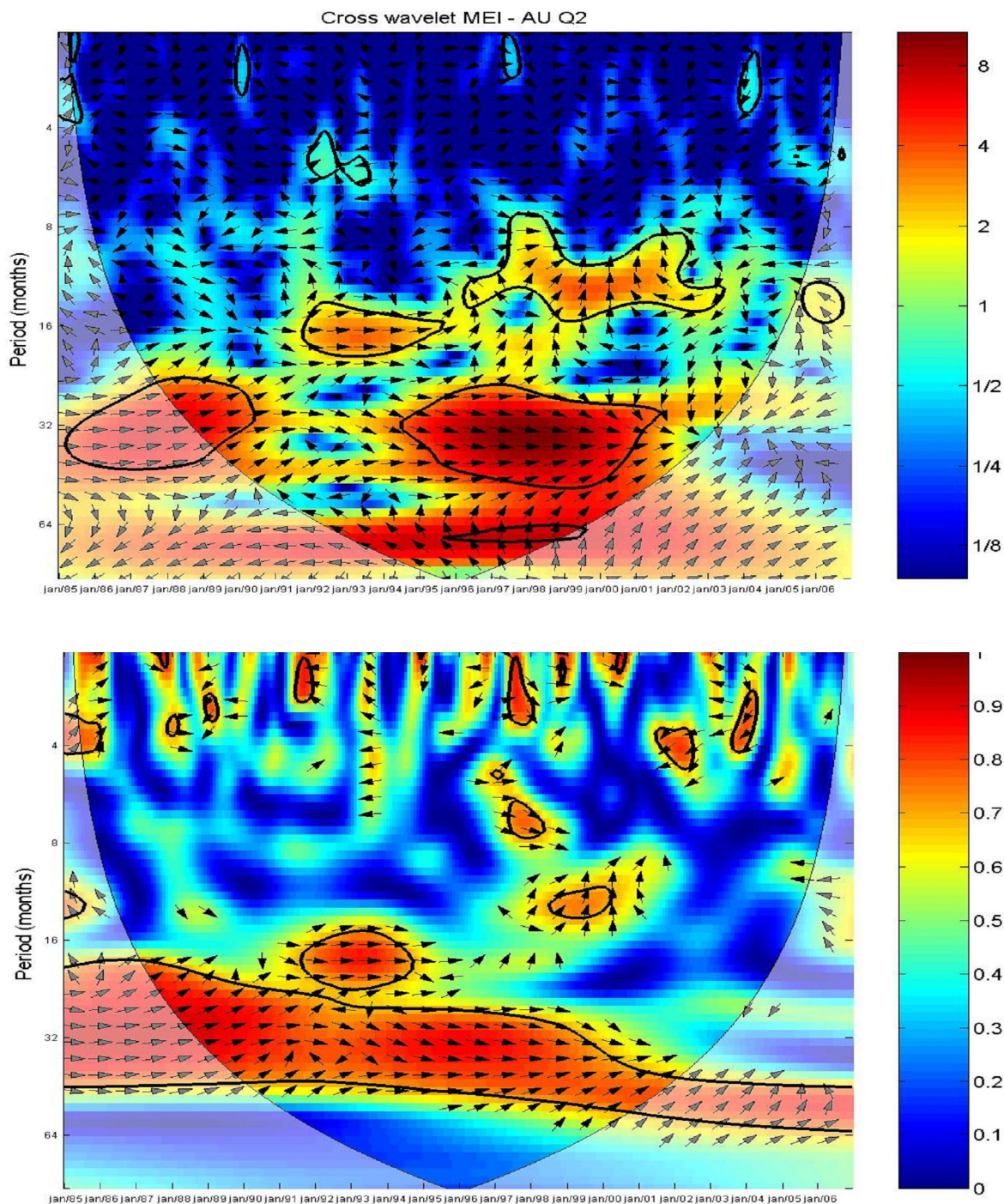


Figura D4 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice MEI e componente zonal do vento (AU) da área Q2. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM conduzindo a MEI em  $90^\circ$ , apontando para baixo; MEI conduzindo ATSM em  $90^\circ$ , apontando para cima.



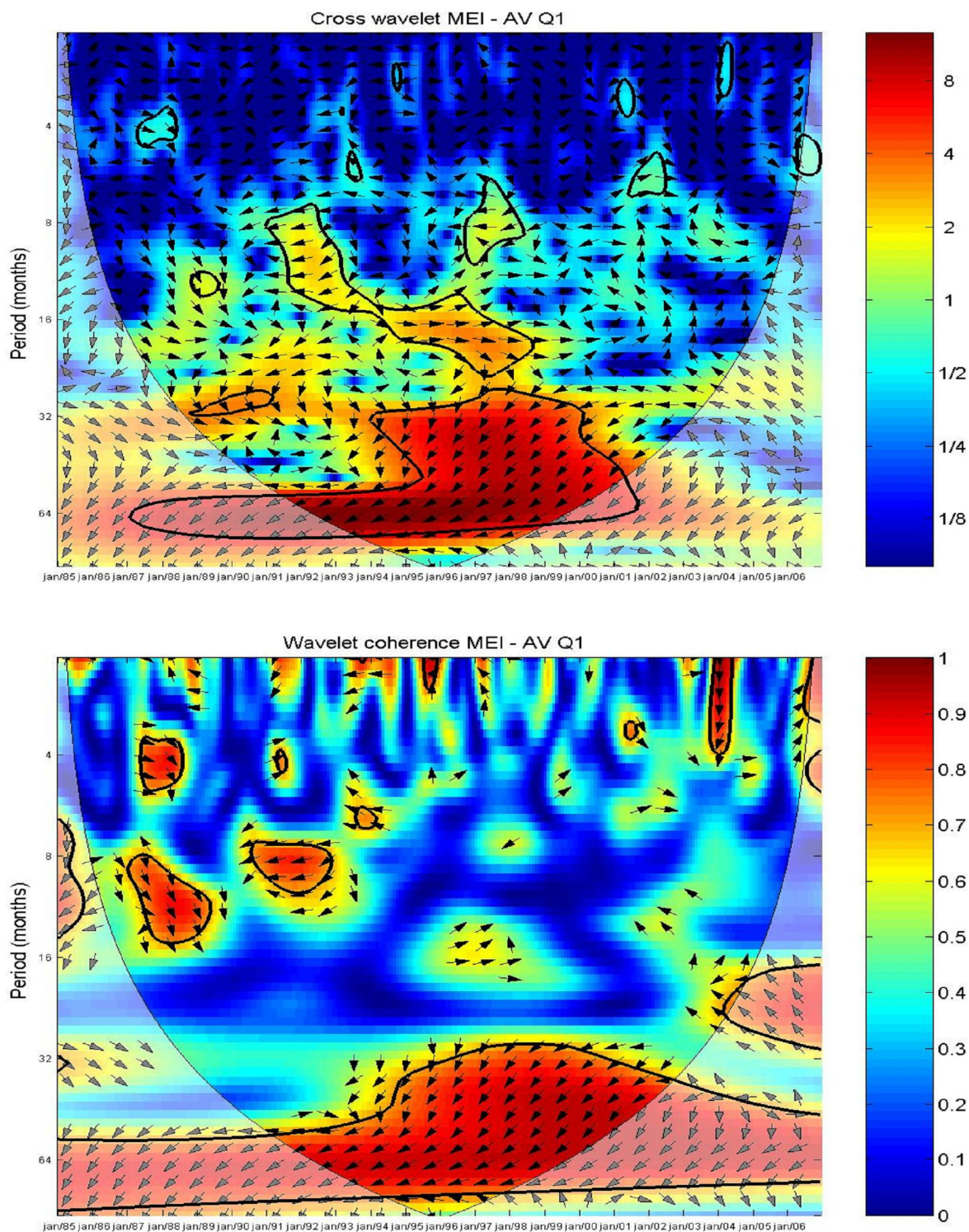


Figura D5 – Idem à Figura D4a e D4b, mas para o índice MEI e a anomalia da componente meridional (AV) do vento da área Q1.



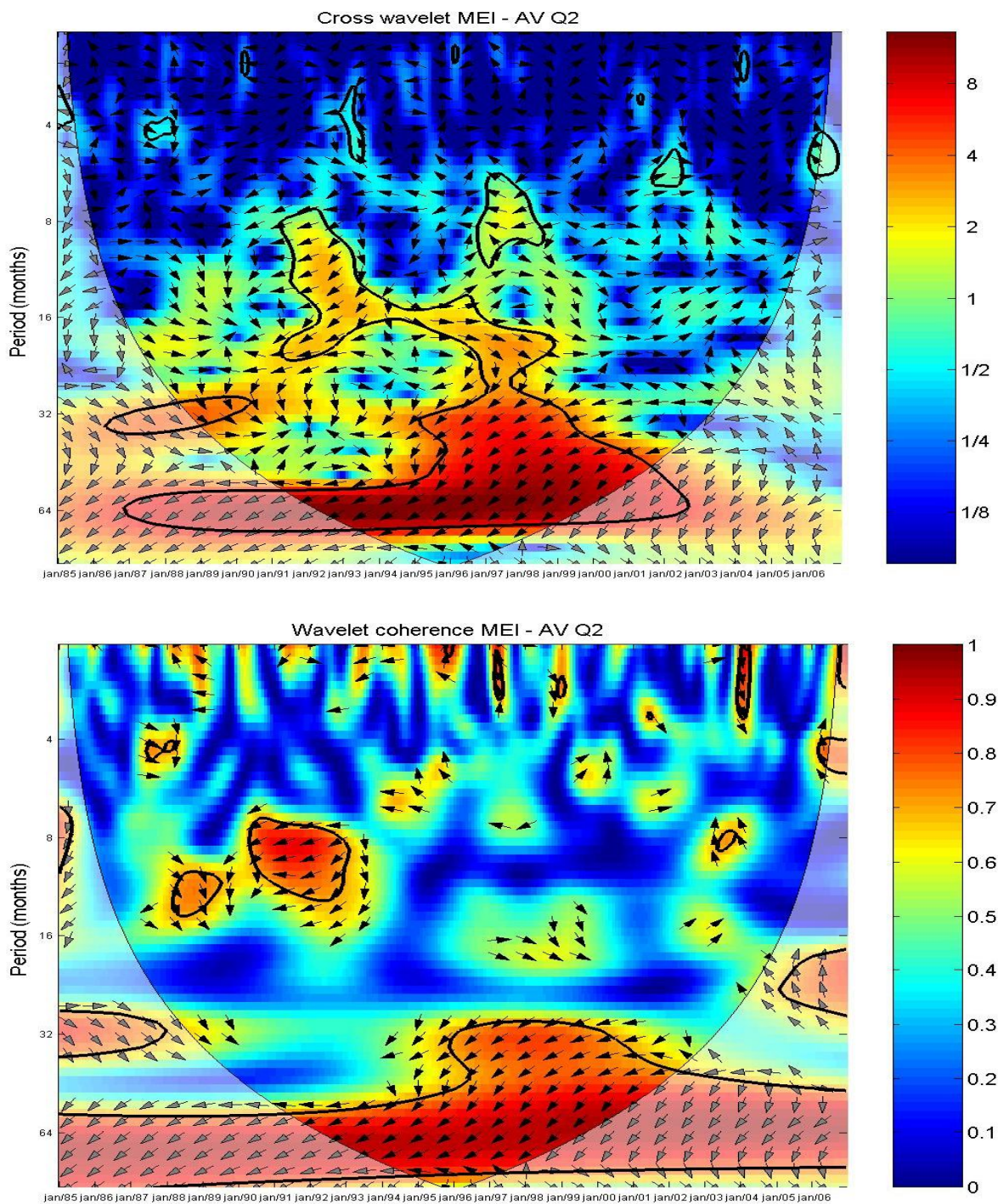


Figura D6 – Idem à Figura D4a e D4b, mas para o índice MEI e a anomalia da componente meridional (AV) do vento da área Q2.



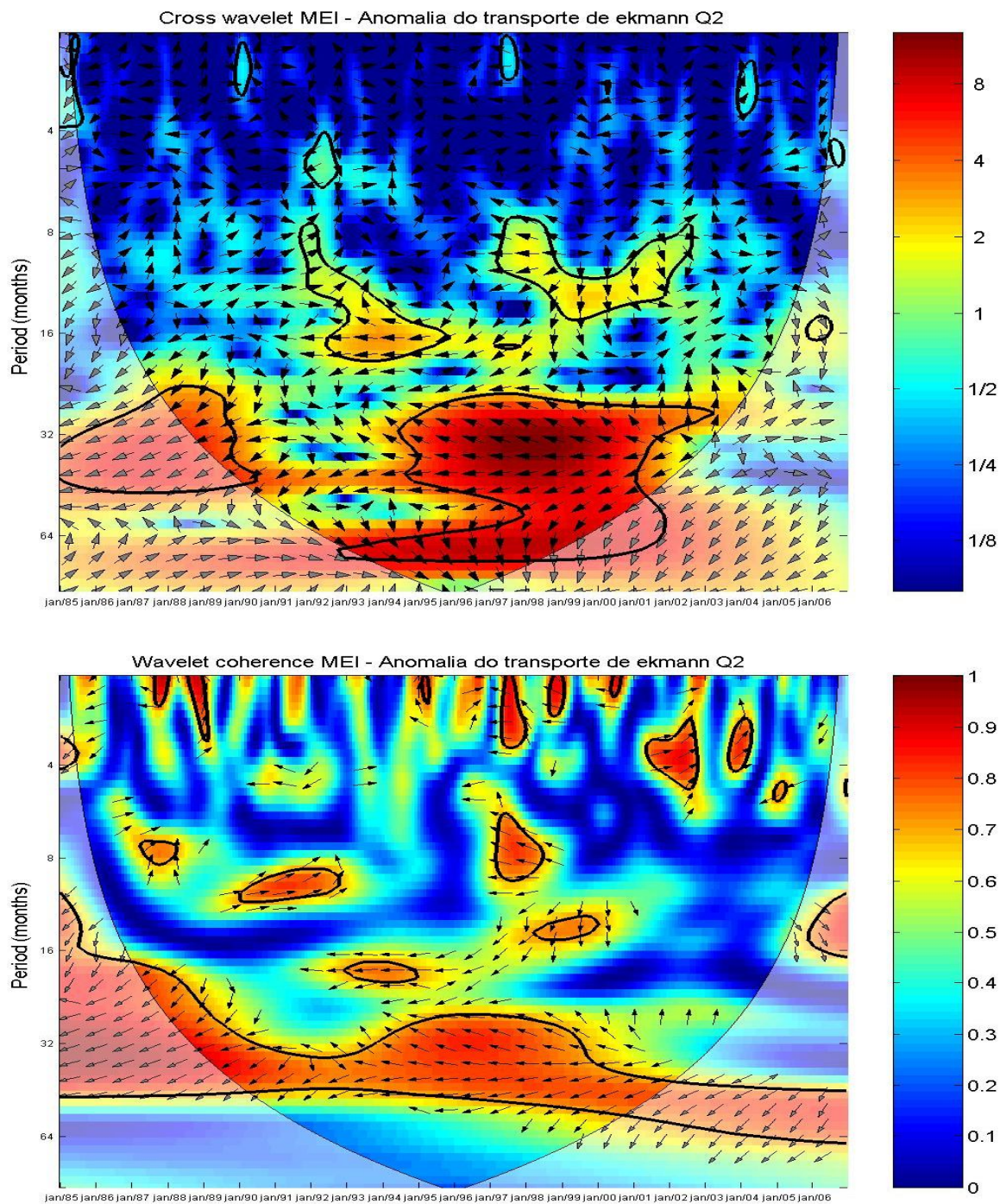


Figura D7 – Idem à Figura D4a e D4b, mas para o índice MEI e a anomalia do transporte de Ekman (AEKM) da área Q2.



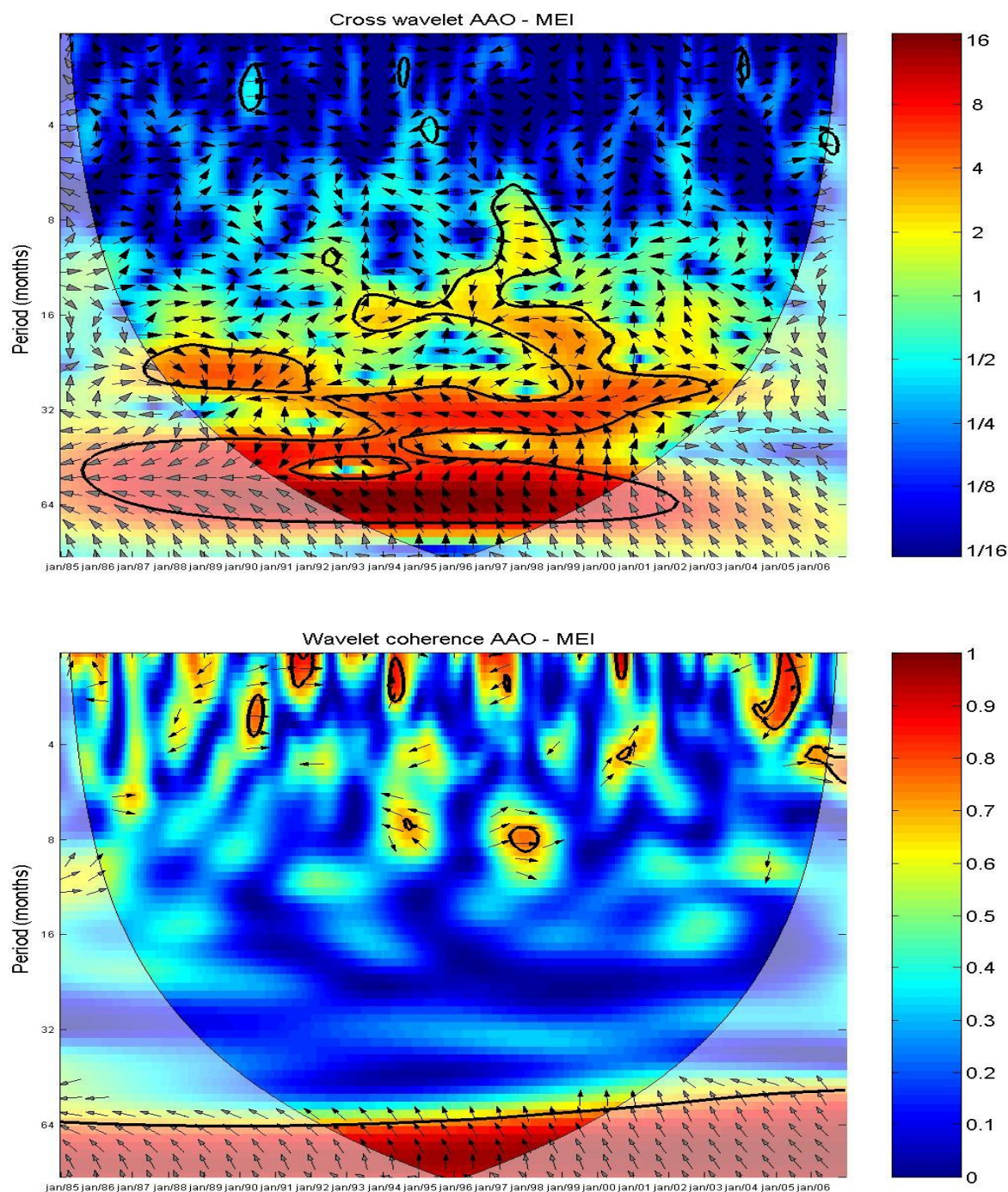


Figura D8 - Ondeleta cruzada das séries temporais normalizadas do índice AAO e MEI. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; AAO conduzindo a MEI em  $90^\circ$ , apontando para baixo; MEI conduzindo AAO em  $90^\circ$ , apontando para cima.



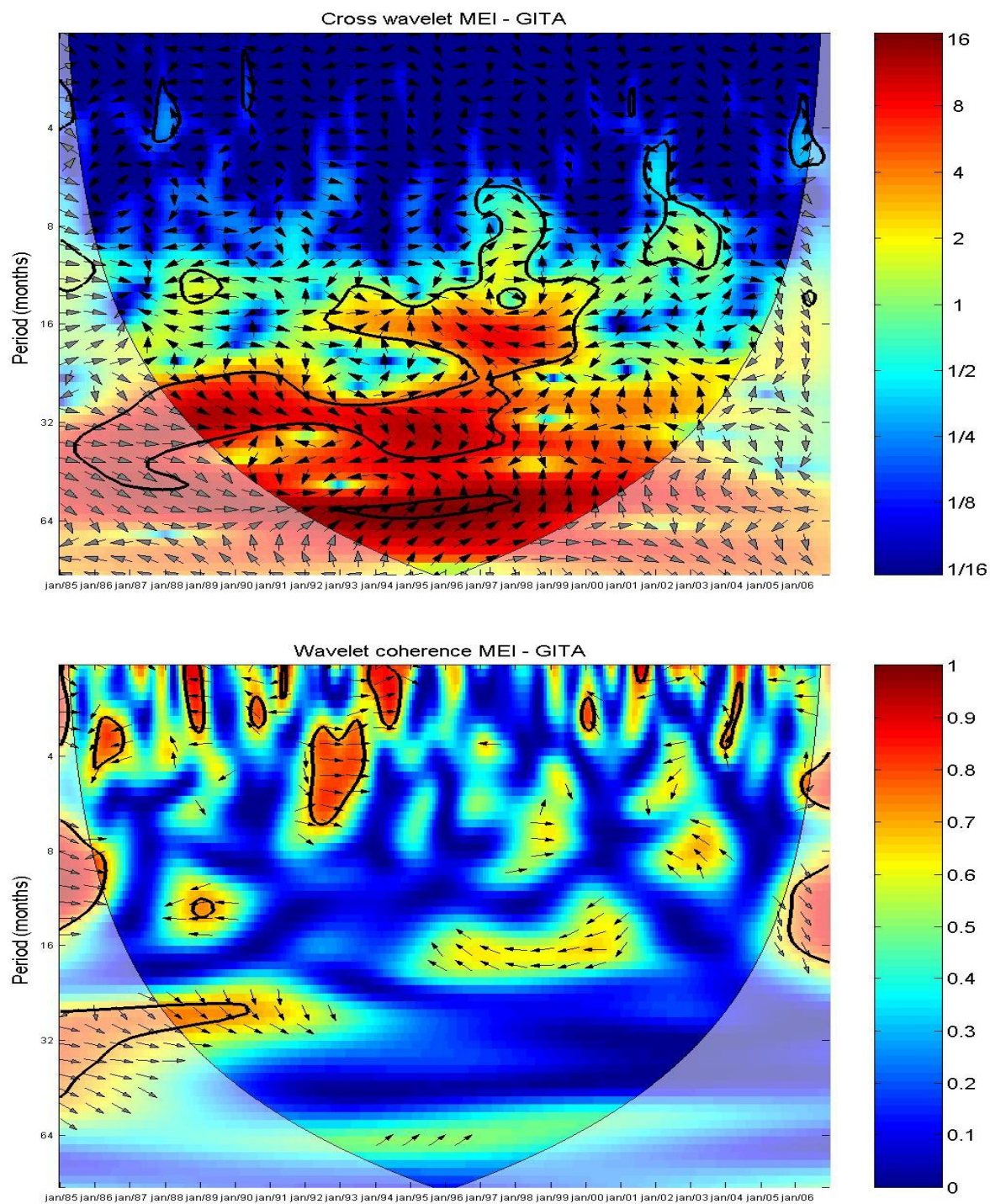


Figura D9 – Idem à Figura D8a e D8b, mas para os índices MEI e GITA.

## D.2 - Análise da Variabilidade Climática Marinha com Respeito ao CPUE

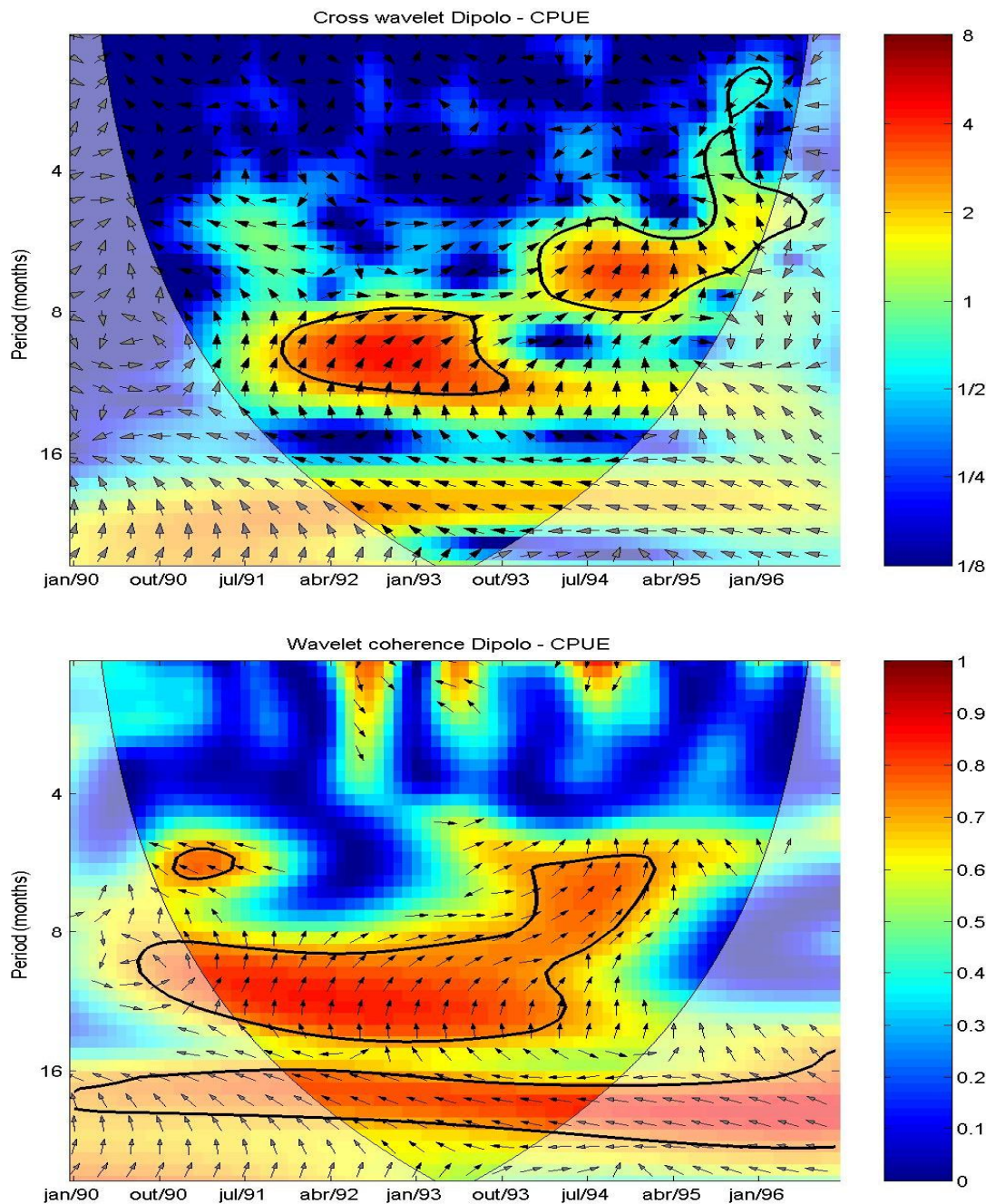


Figura D10 - Ondeleta cruzada das séries temporais do índice GITA (Dipolo) e CPUE em Q1 (CPUE1). (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; GITA conduzindo a CPUE1 em 90°, apontando para baixo; CPUE1 conduzindo GITA em 90°, apontando para cima.



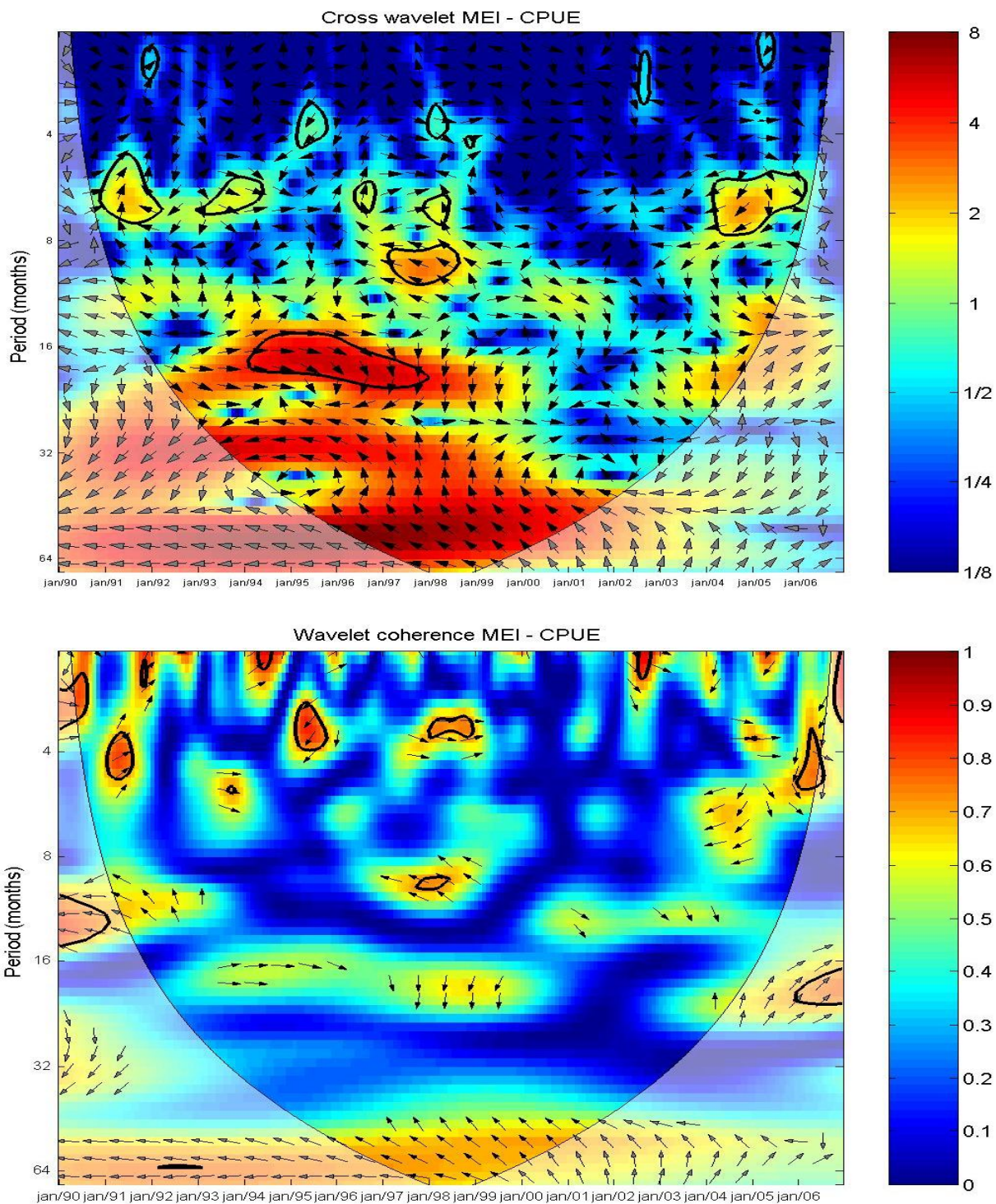


Figura D11 – Idem à Figura D10a e D10b mas para o índice MEI e CPUE da área Q2 (CPUE2).



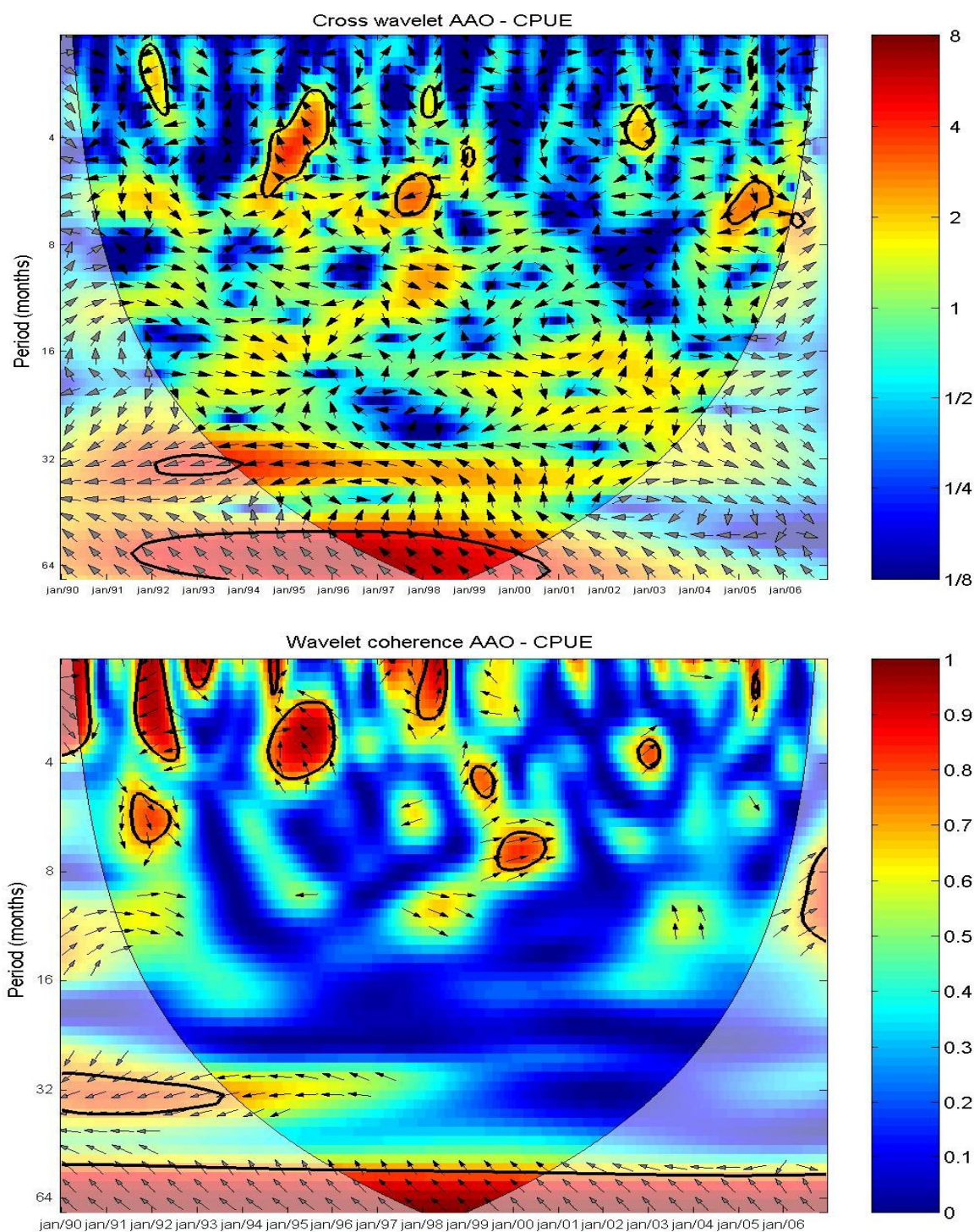


Figura D12 – Idem à Figura D10a e D10b mas para o índice AAO e CPUE da área Q2 (CPUE2).



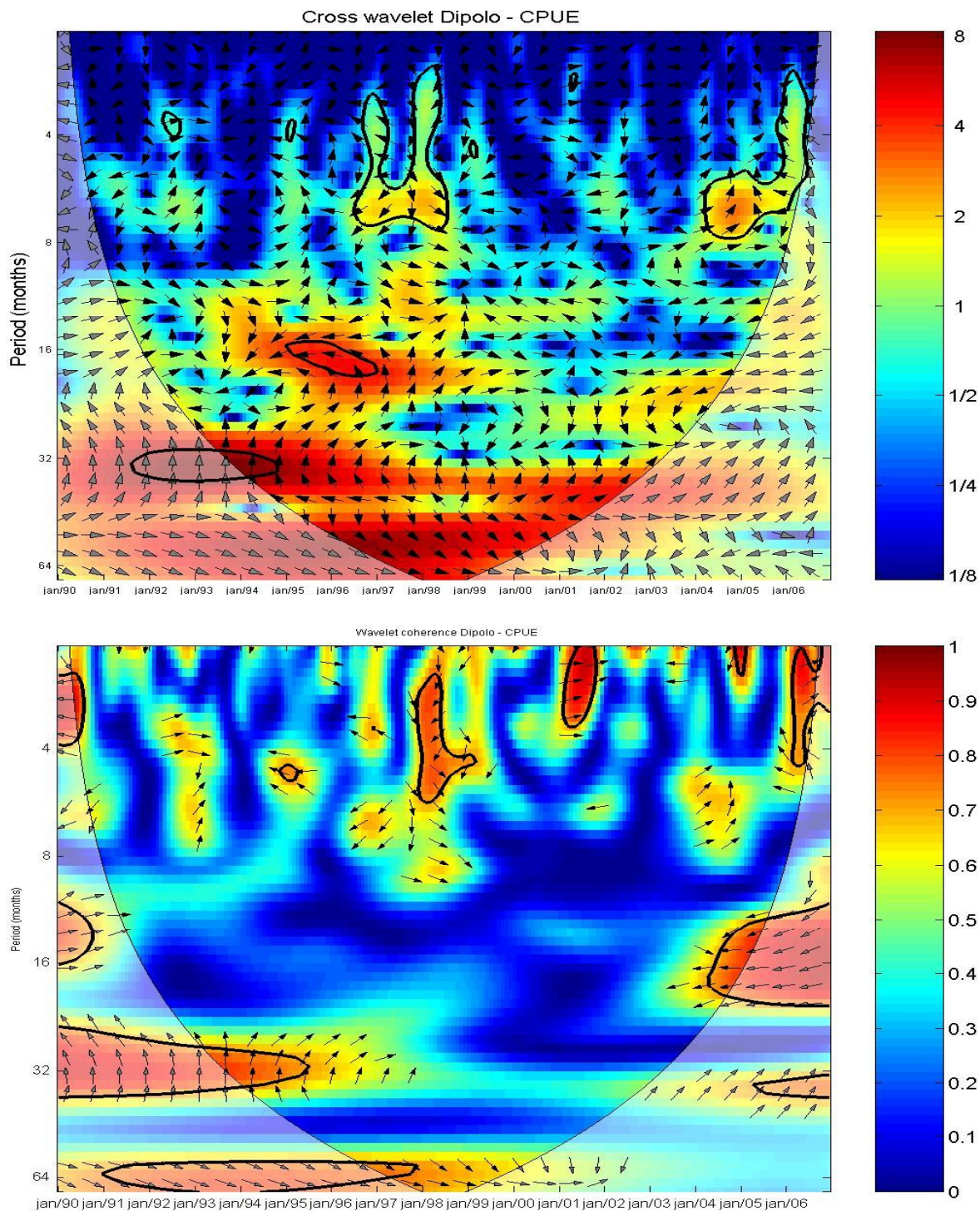


Figura D13 – Idem à Figura D10a e D10b mas para o índice GITA e CPUE da área Q2 (CUPE2).

### D.3 - Variáveis Climáticas versus CPUE

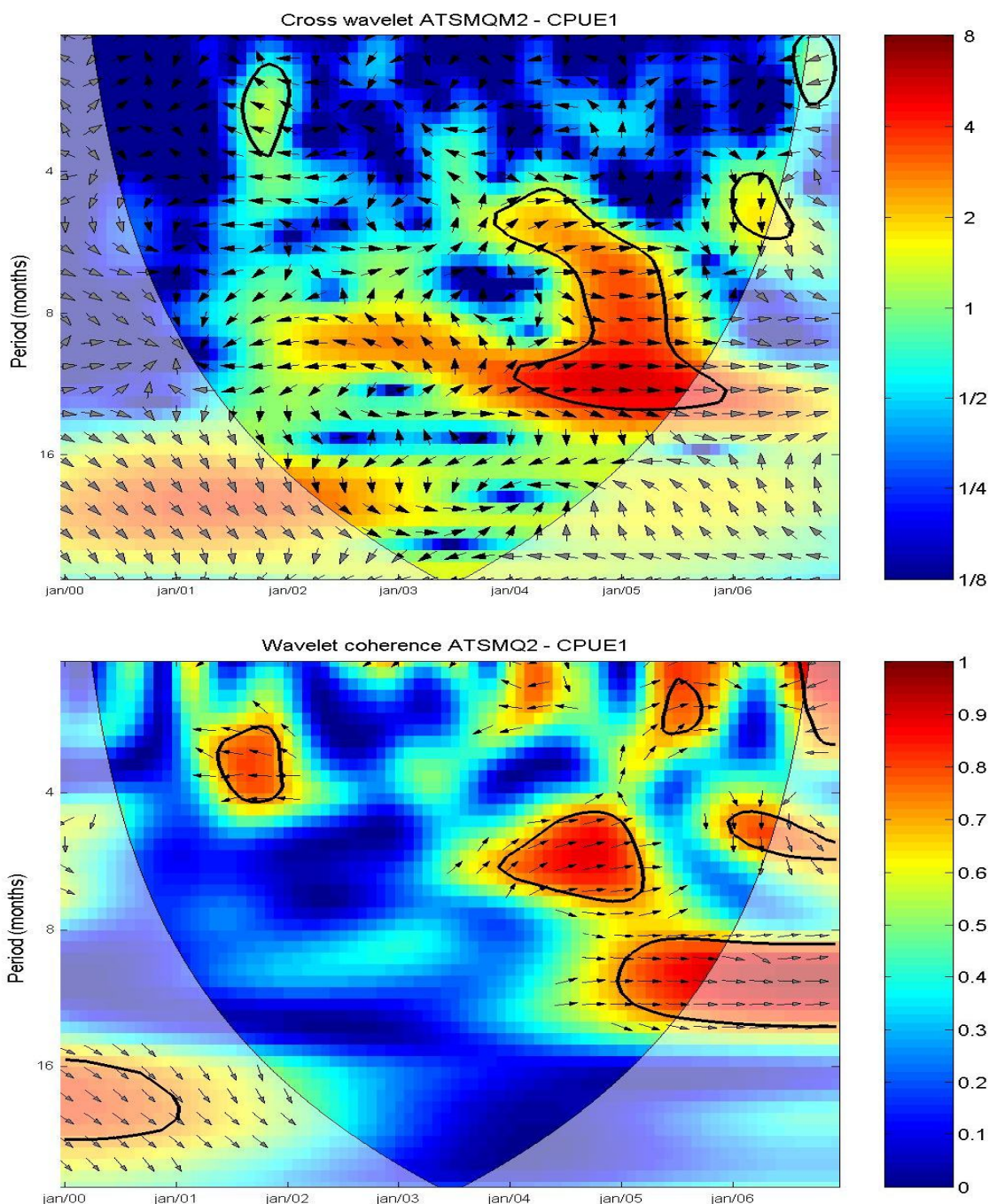


Figura D14 – Ondeleta cruzada das séries temporais de ATSM em Q2 e CPUE em Q1 (CPUE1). (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM\_Q2 conduzindo a CPUE1 em  $90^\circ$ , apontando para baixo; CPUE1 conduzindo ATSM\_Q2 em  $90^\circ$ , apontando para cima.



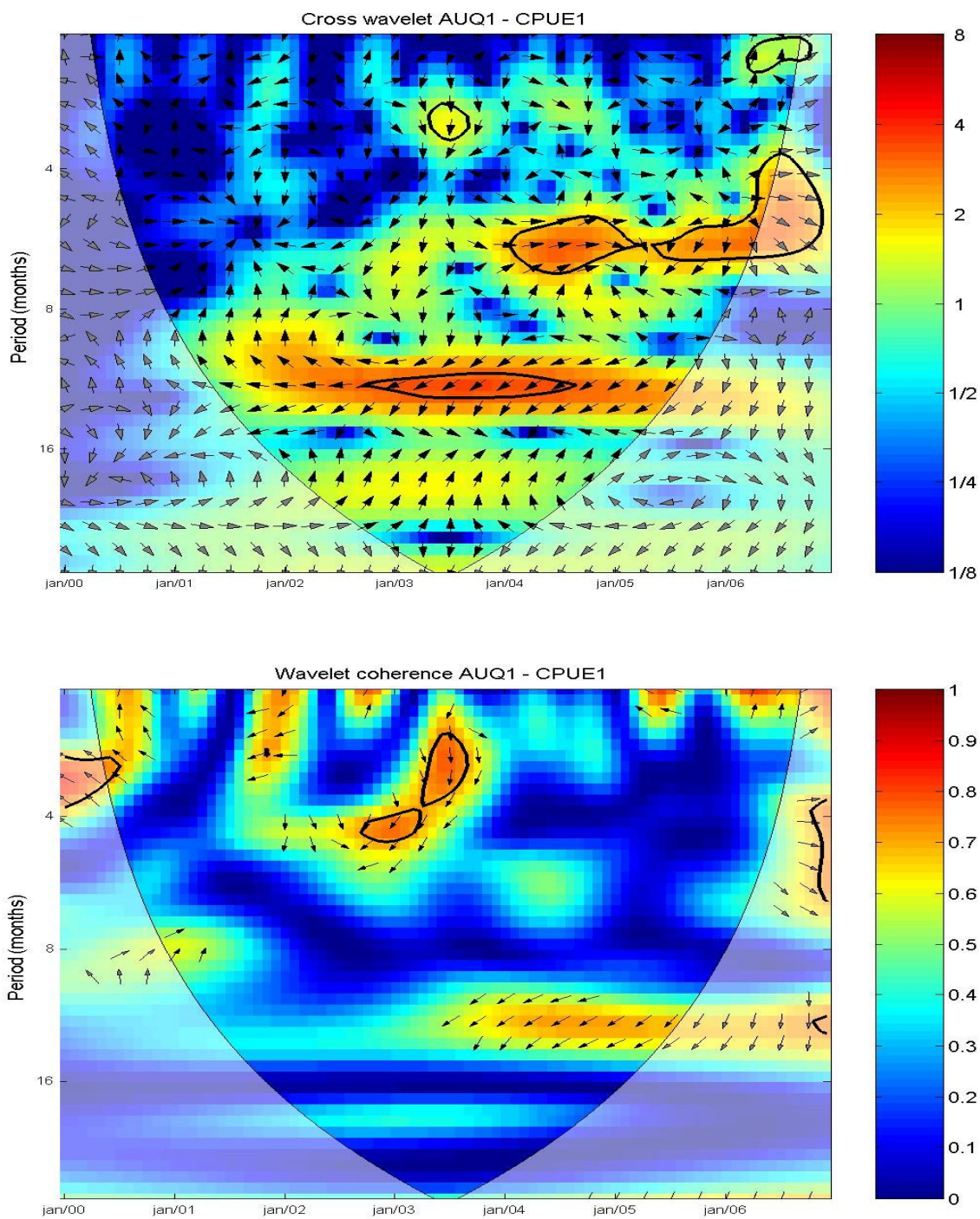


Figura D15 - Idem à Figura D14a e D14b mas para a anomalia da componente zonal do vento (AU) e CPUE, ambos da área Q1 (CUPE1).

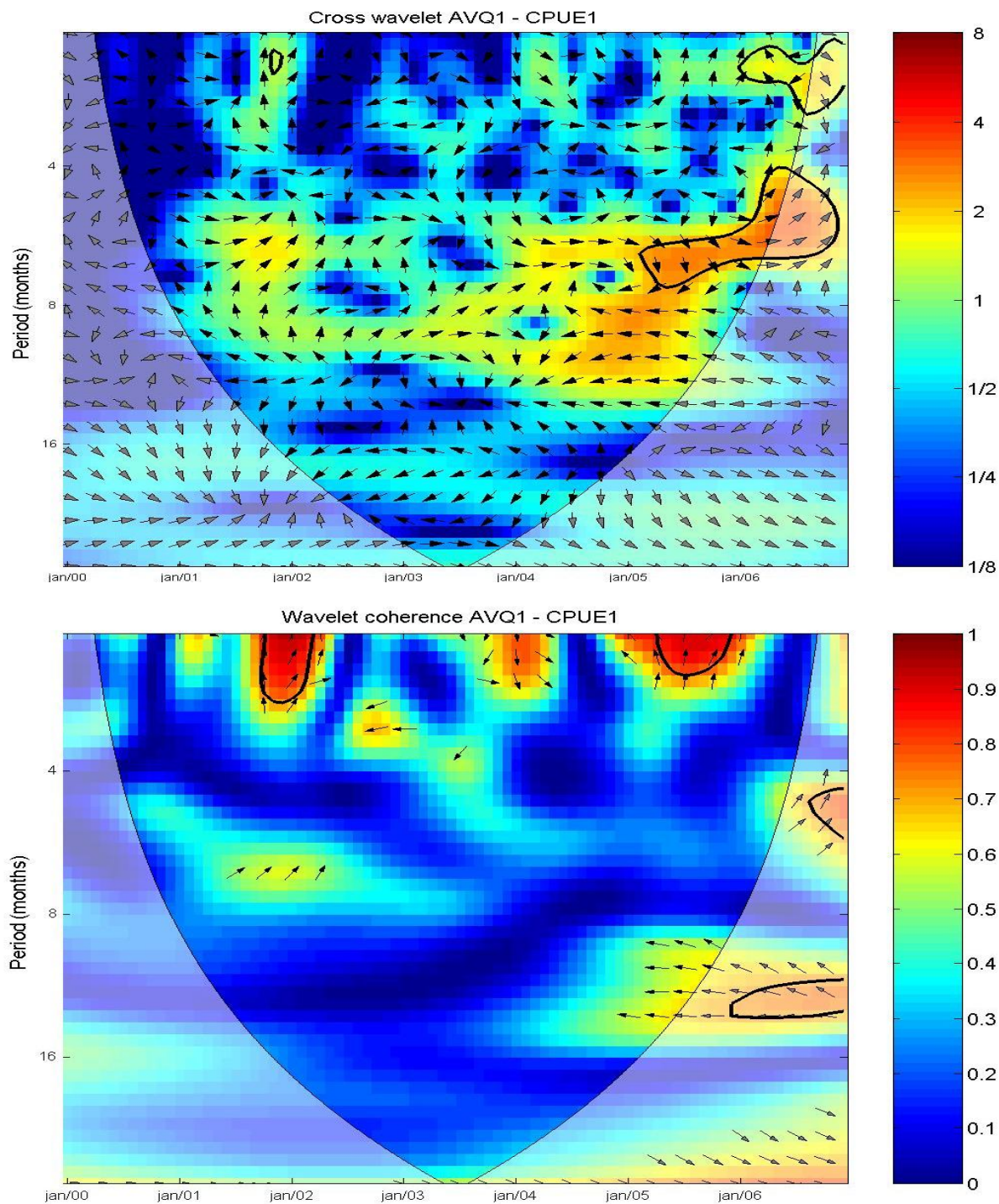


Figura D16 – Idem à Figura D14a e D14b mas para a anomalia da componente meridional do vento e CPUE, ambos na área Q1.



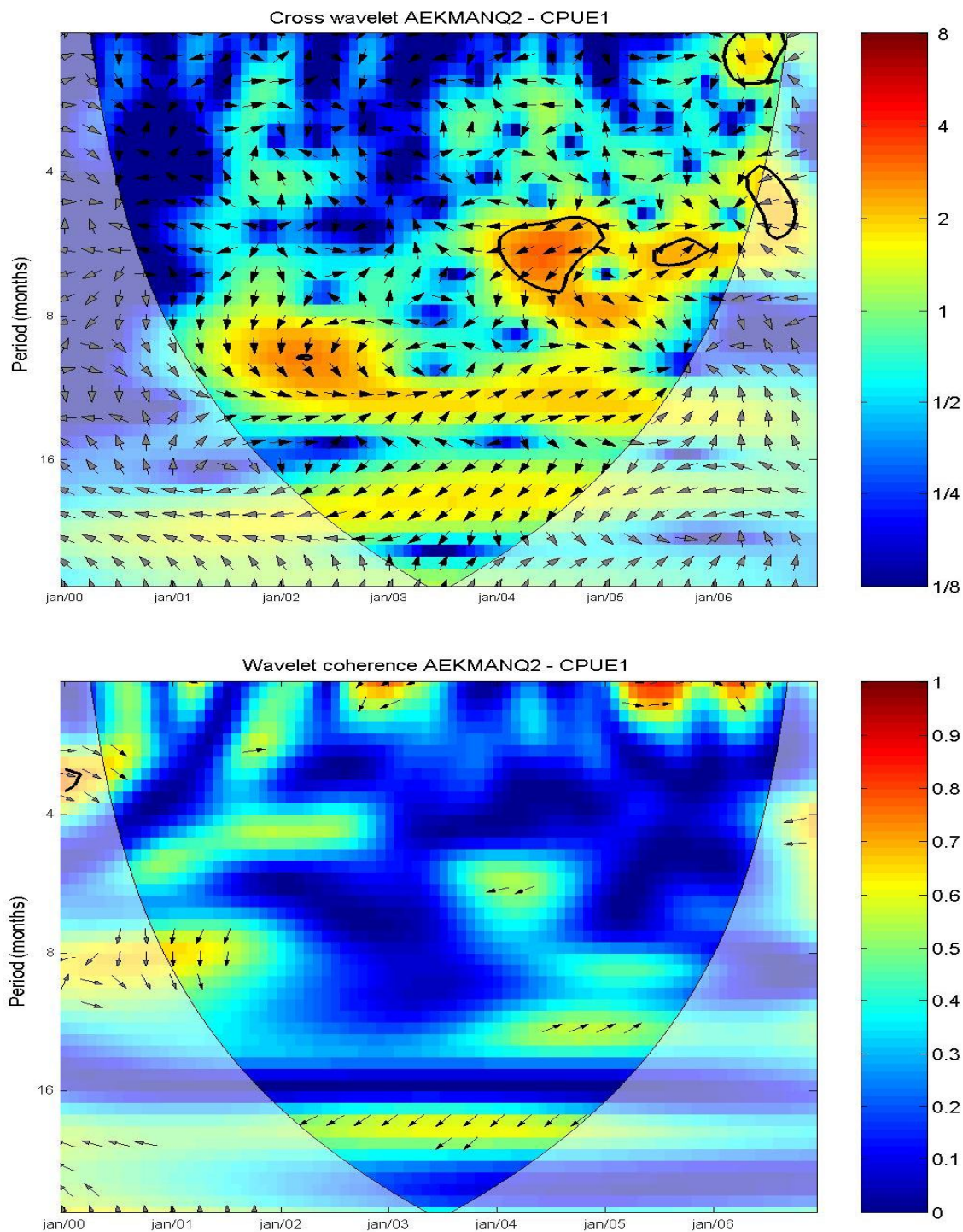


Figura D17 – Idem à Figura D14a e D14b mas para a anomalia do transporte de Ekman na área Q2 (AEKMANQ2) e CPUE na área Q1 (CPUE1).

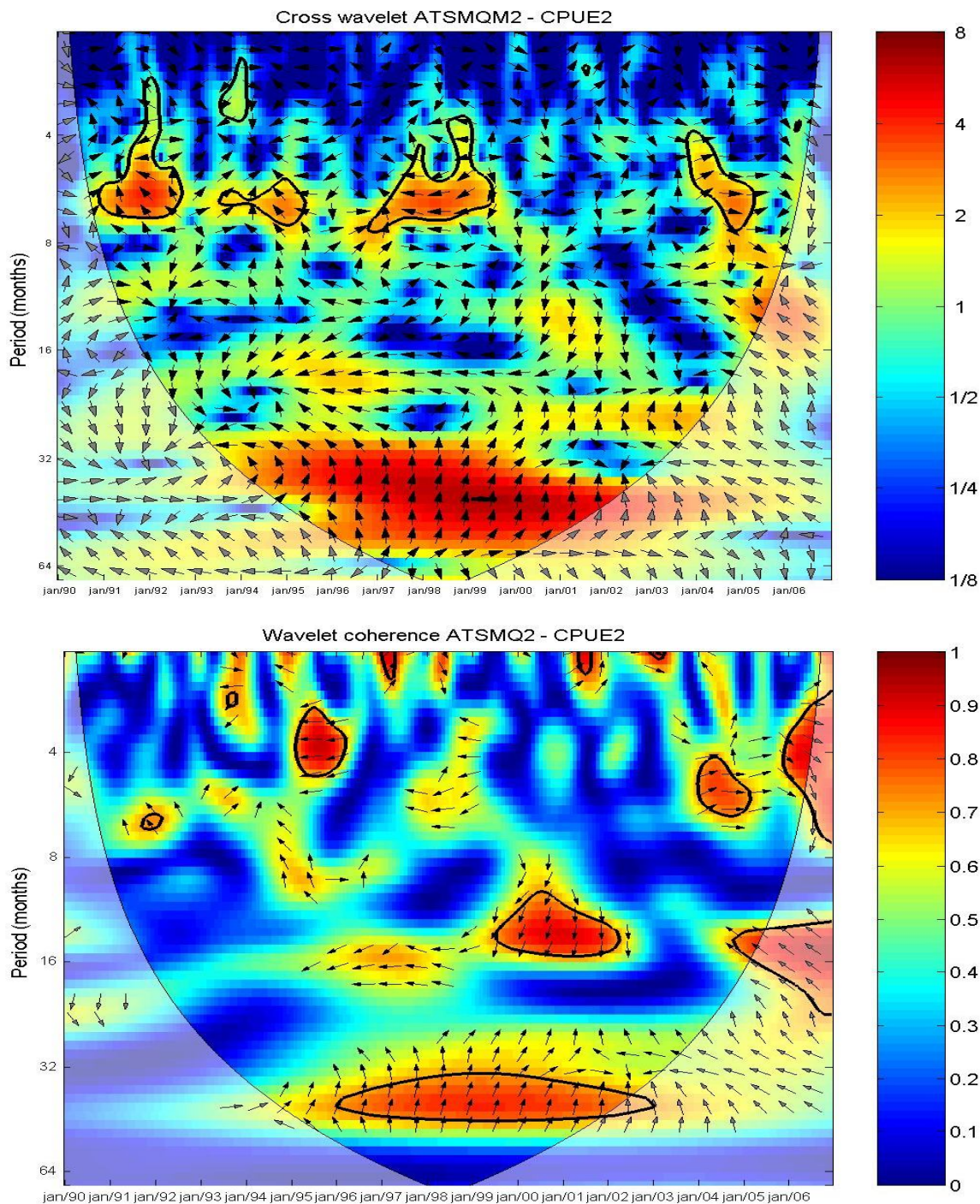


Figura D18 – Ondeleta cruzada das séries temporais de ATSM e CPUE, ambos em Q2. (a) Energia da ondeleta cruzada. (b) Ondeleta coerência. Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; ATSM conduzindo a CPUE2 em 90°, apontando para baixo; CPUE2 conduzindo ATSM em 90°, apontando para cima.



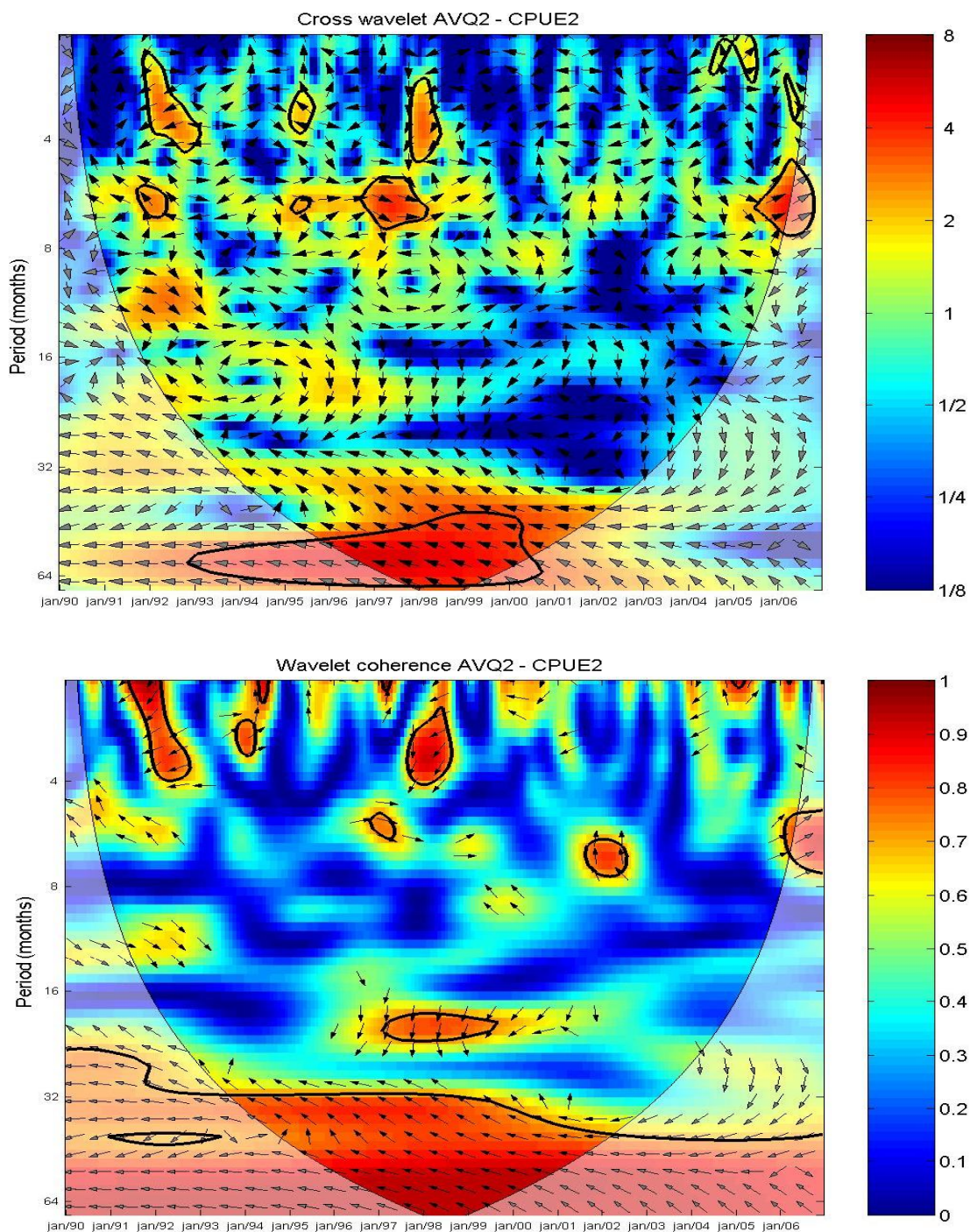


Figura D19 – Idem à Figura D18a e D18b mas para a anomalia da componente meridional do vento (AV) e CPUE (CPUE2), ambos na área Q2.



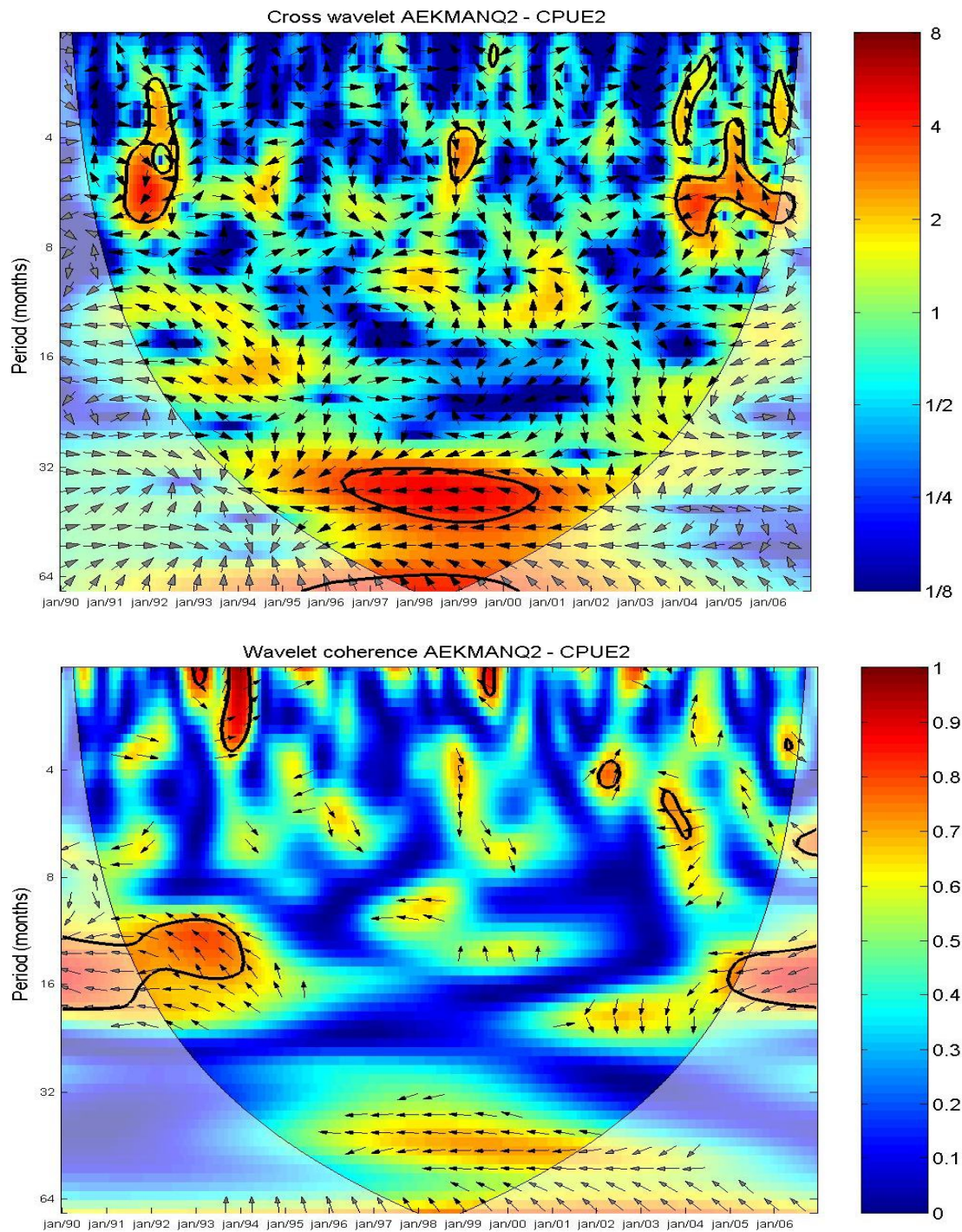


Figura D20 – Idem à Figura D18a e D18b mas para a anomalia do transporte de Ekman (AEKMAN) e CPUE (CPUE2), ambos na área Q2.



## APENDICE E - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

### E.1 - ACP Região Q1

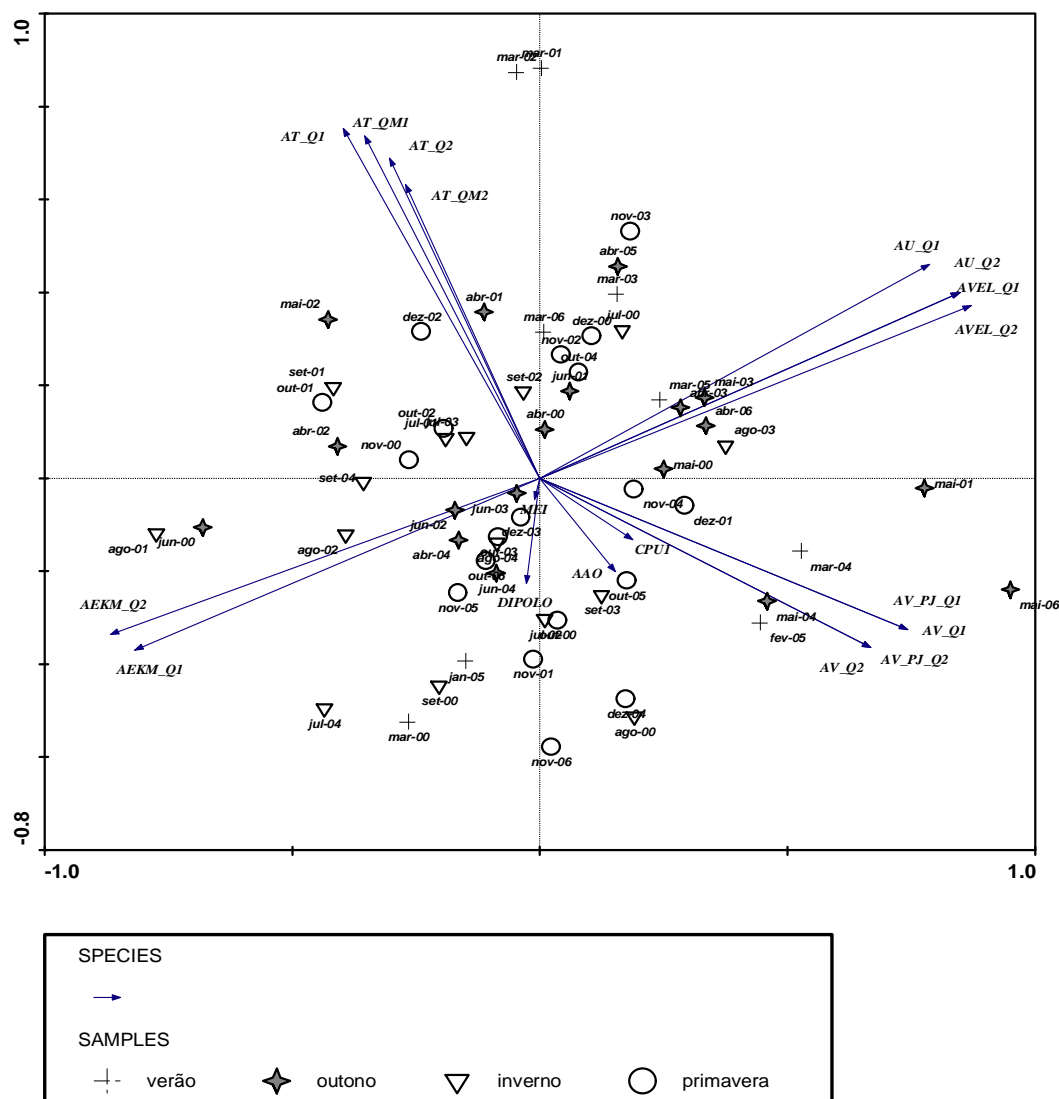


Figura E1: Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q1 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente meridional projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Índice Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA: Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.

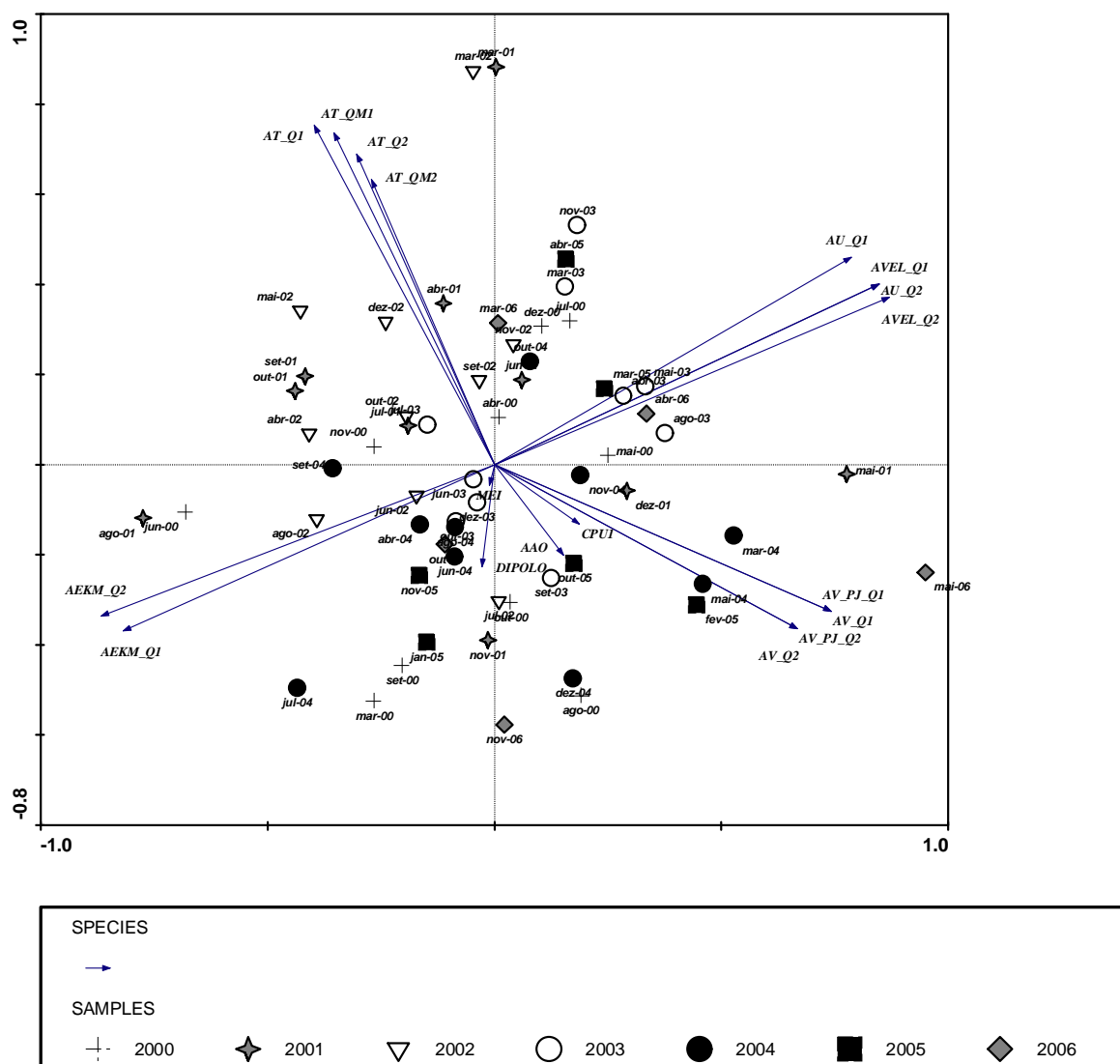


Figura E2: Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q1 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente meridional projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Índice Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA: Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.

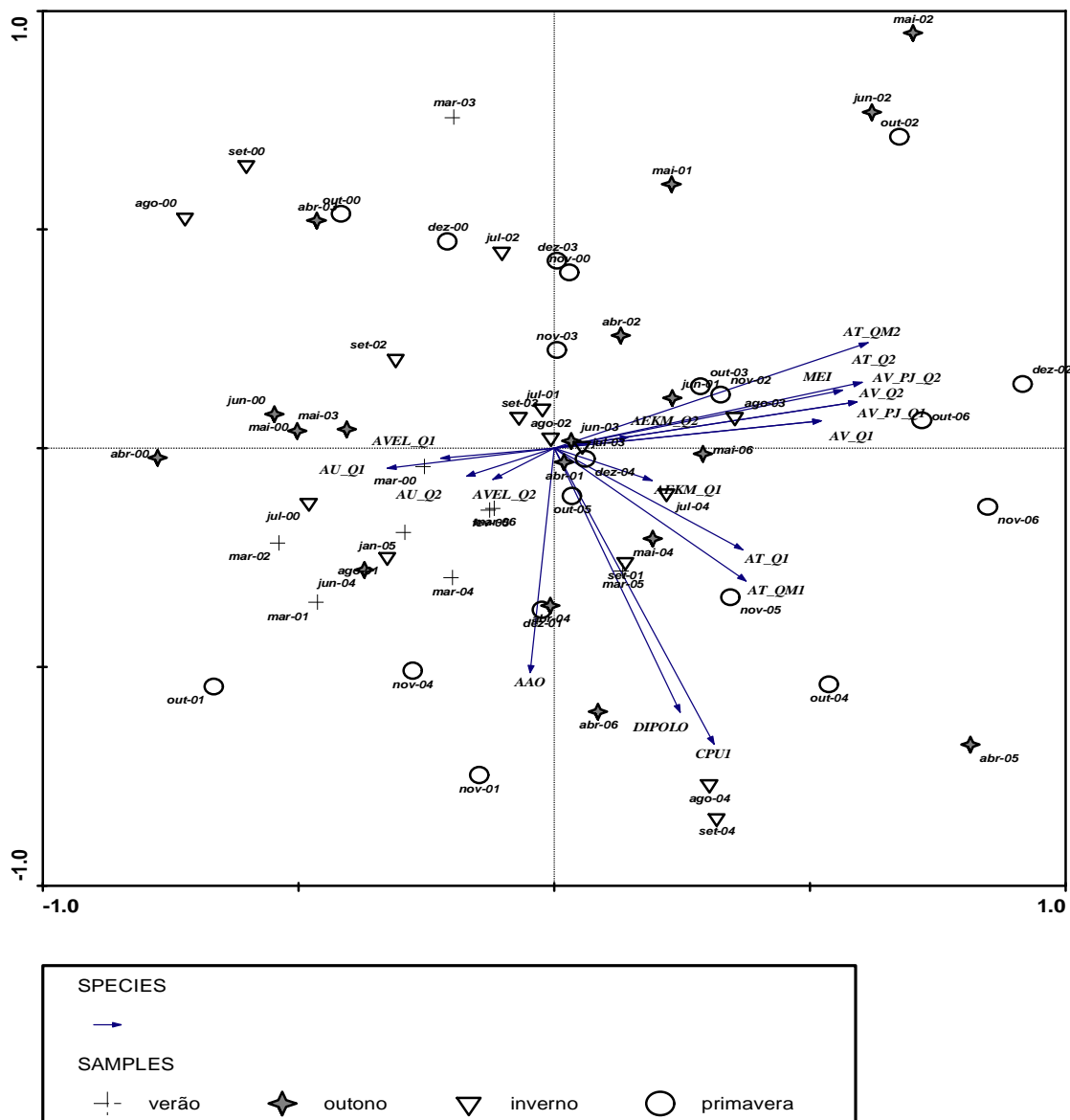


Figura E3: Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais da área Q1 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.

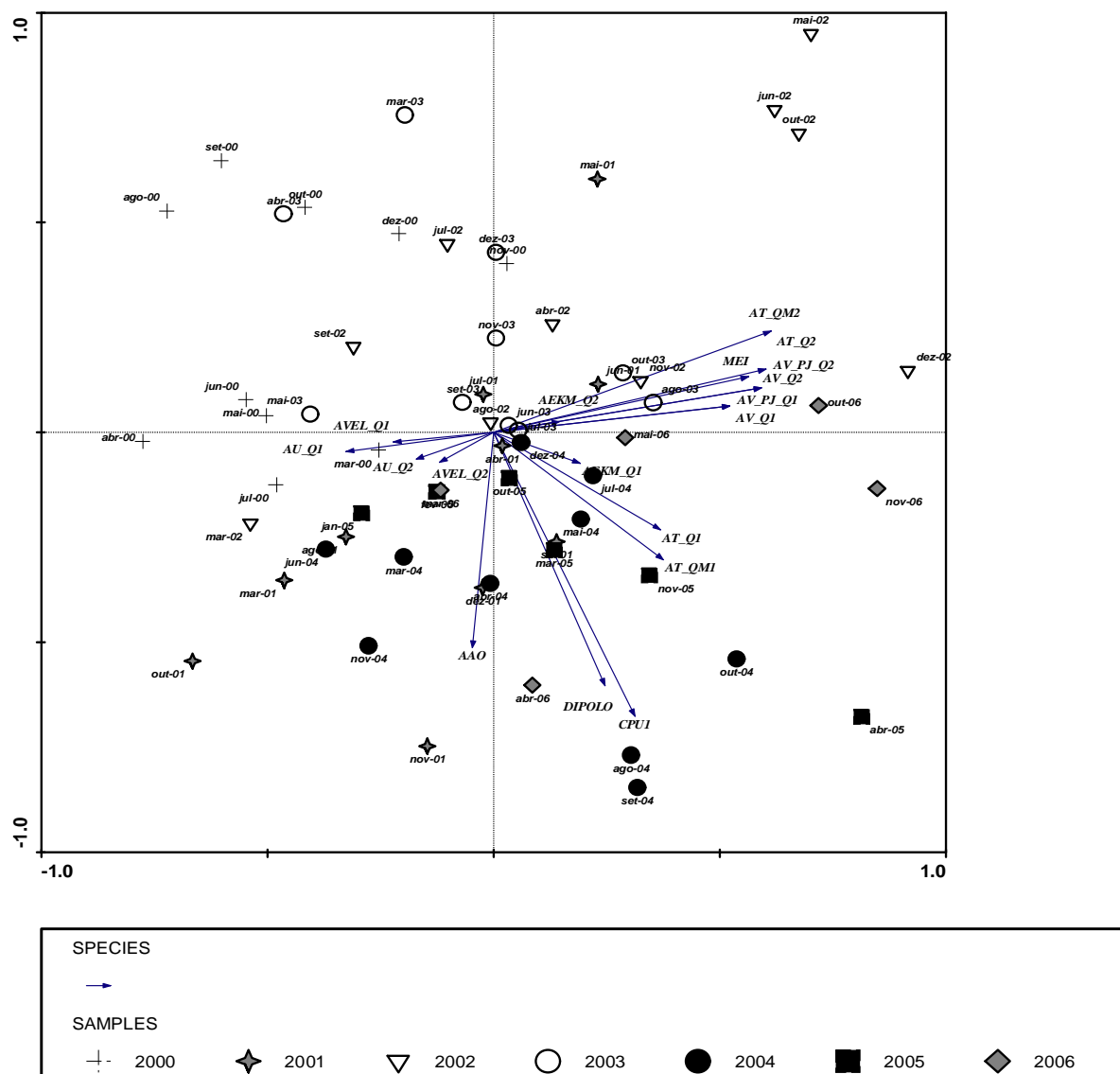


Figura E4: Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais da área Q1 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.

## E.2 - ACP Região Q2

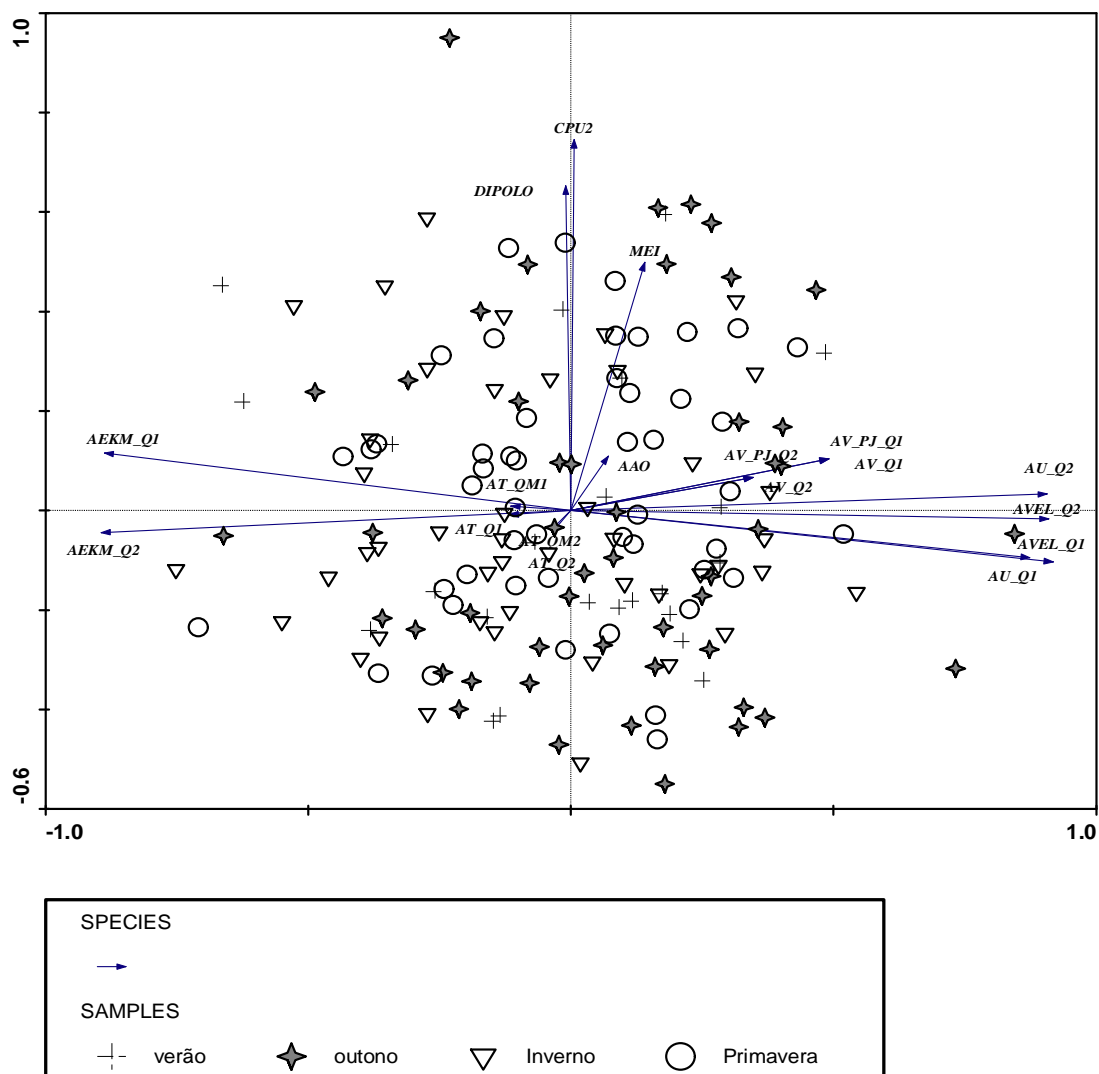


Figura E5: Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixo) resultante da análise de componentes principais da área Q2 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.

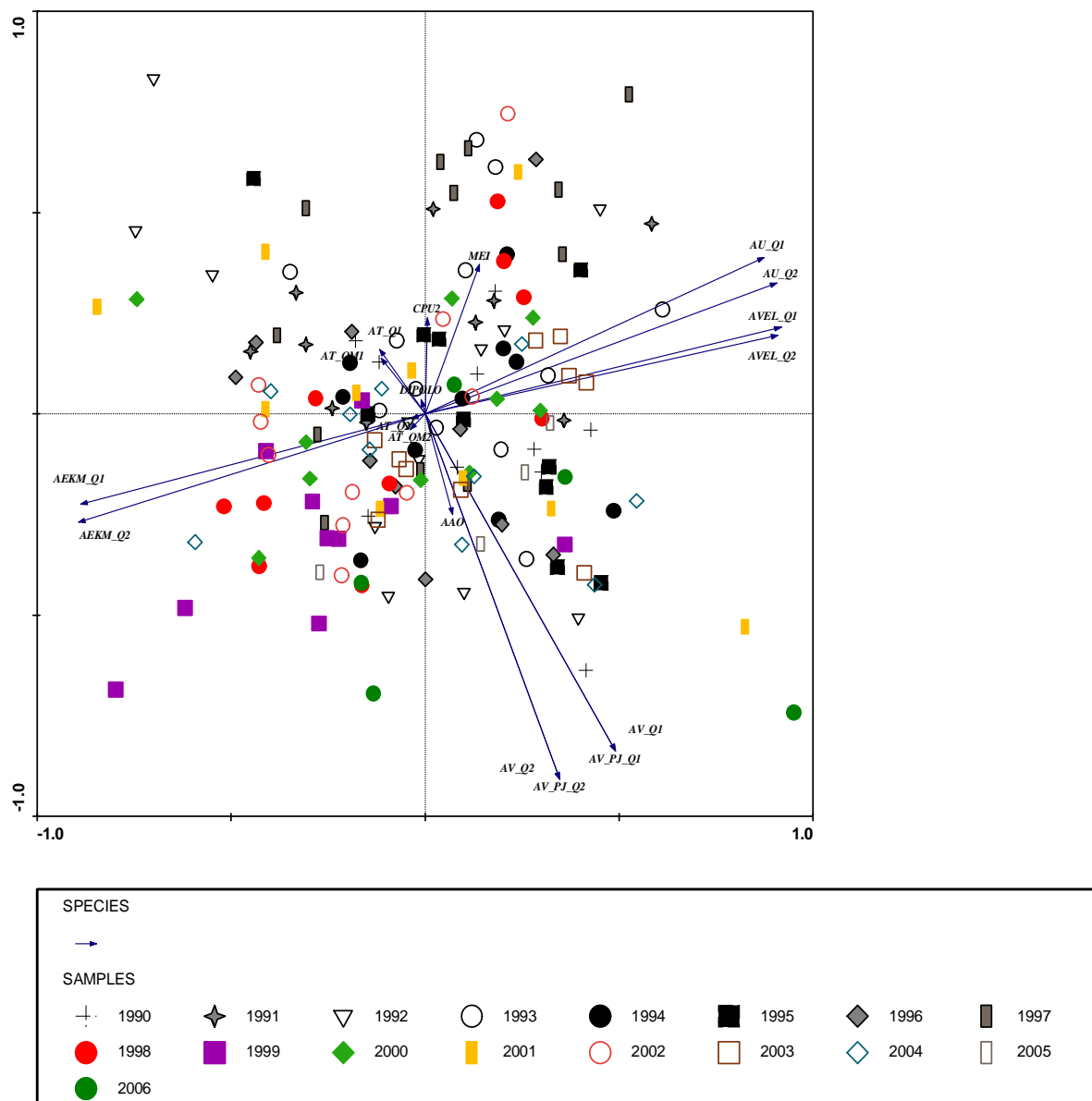


Figura E6: Diagrama do primeiro plano fatorial (primeiro e segundo eixo) resultante da análise de componentes principais da área Q2 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM do Atlântico.

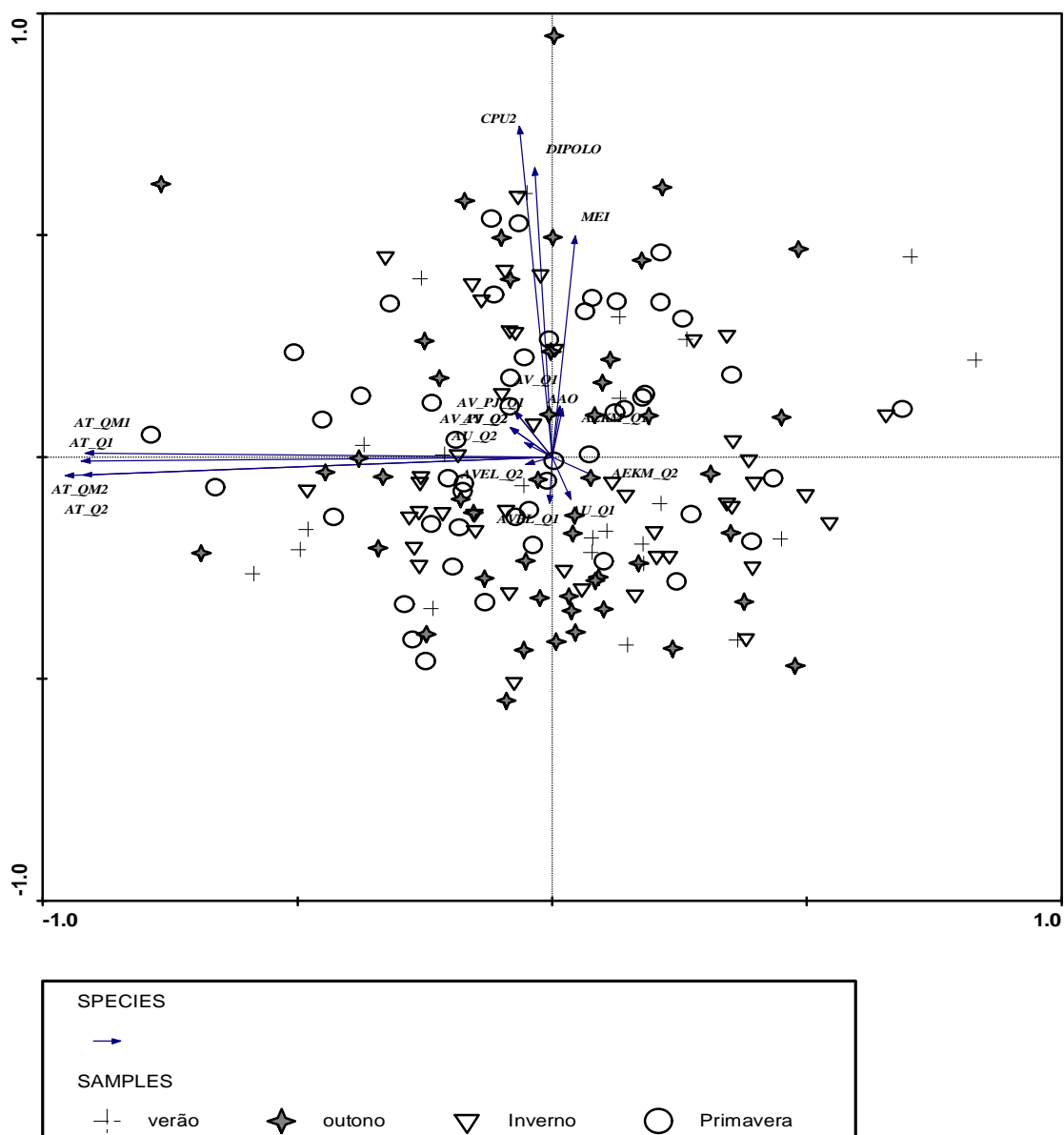


Figura E7: Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q2 considerando sua variabilidade sazonal. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-hemisférico de TSM do Atlântico.

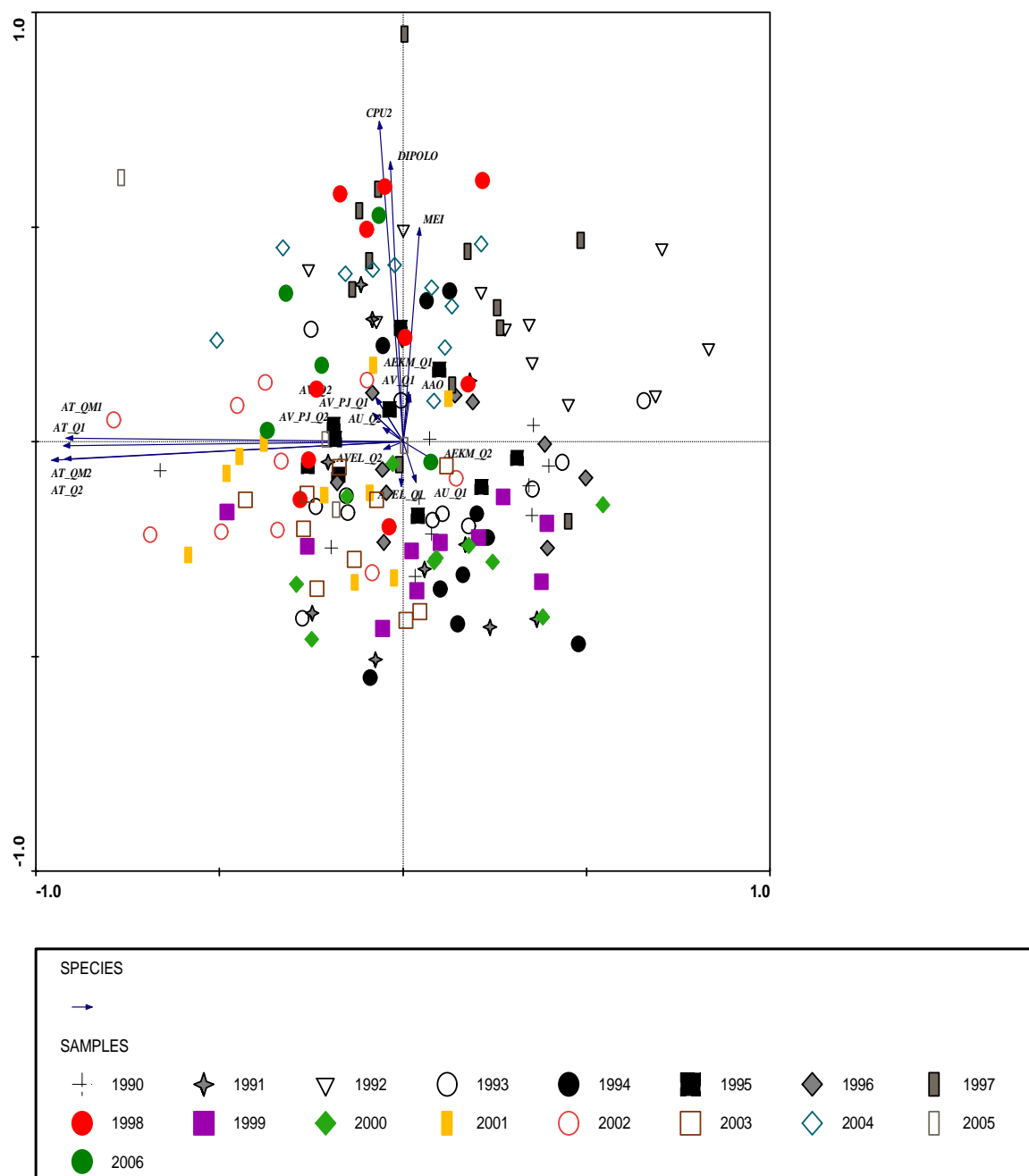


Figura E8: Diagrama do segundo plano fatorial (terceiro e quarto eixos) resultante da análise de componentes principais (ACP) da área Q2 considerando sua variabilidade anual. Onde: CPU: CPUE, A: anomalia, T: TSM, U: componente zonal do vento, V: componente meridional do vento, PJ: componente v projetada do vento, VEL: velocidade do vento, EKM: transporte de Ekman, AAO: Oscilação Antártica, MEI: Índice Multivariado do ENOS e GITA (dipolo): Índice Gradiente Inter-hemisférico de TSM do Atlântico.



## E.3 - ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA (RDA)

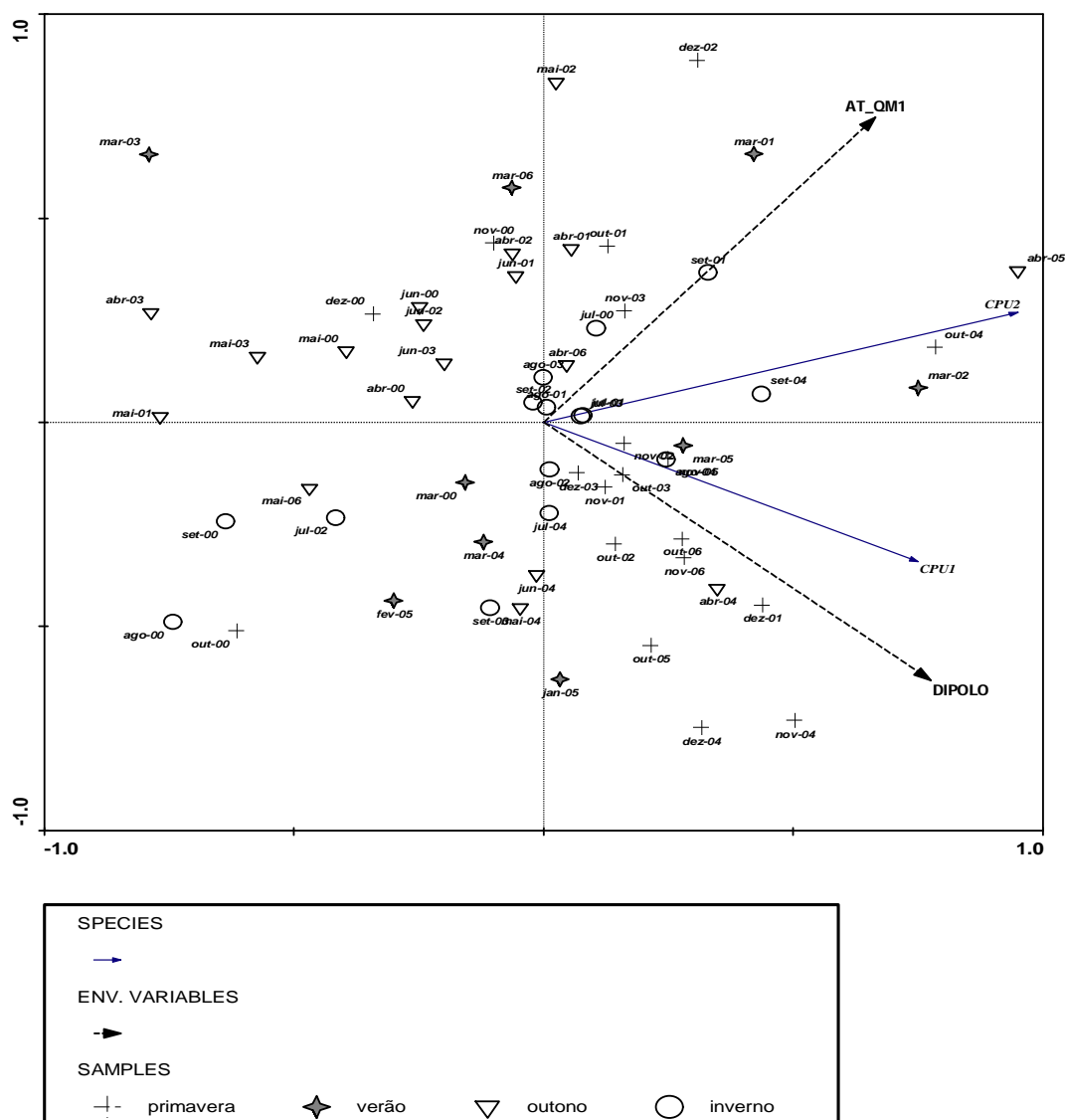


Figura E9: Plano Canônico de Análise de Redundância (RDA) para a área Q1 e Q2 aplicadas a matriz de CPUE e variáveis ambientais, onde A: anomalia, T: TSM, dipolo: GITA, U: componente zonal do vento e CPU: CPUE, considerando sua variabilidade sazonal.

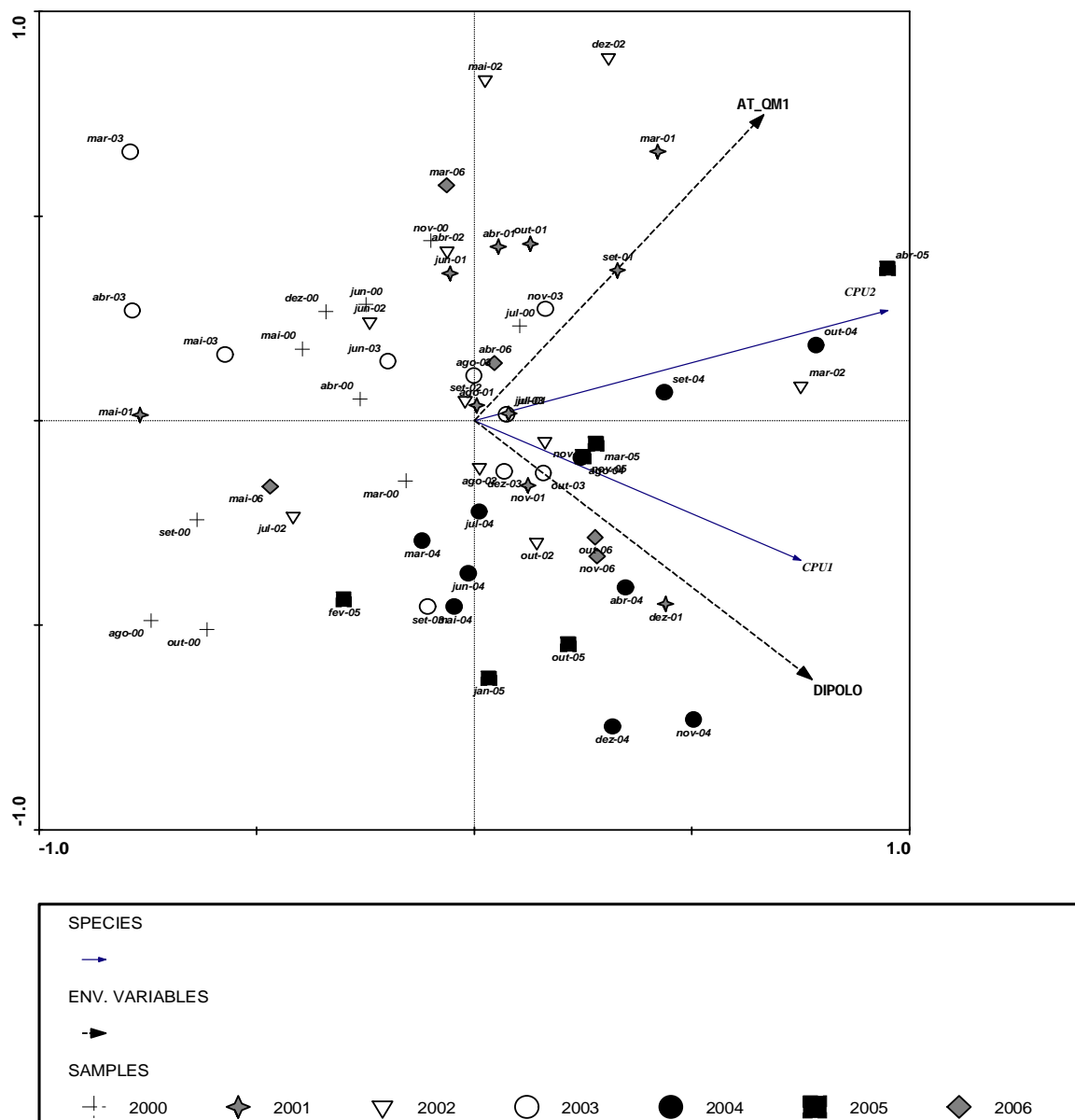


Figura E10: Plano Canônico de Análise de Redundância (RDA) para a área Q1 e Q2 aplicadas a matriz de CPUE e variáveis ambientais, onde A: anomalia, T: TSM, dipolo: GITA, U: componente zonal do vento e CPU: CPUE, considerando sua variabilidade anual.